Kalziose (Kalkchlorose) und Stoffwechsel beim Apfel- und Kirschbaum[1]

Von W. S. Iljin

Mit 18 Textabbildungen

(Vorgelegt in der Sitzung vom 20. März 1947)

Einführung.

In einer vorangegangenen Arbeit habe ich die biochemischen und physiologischen Vorgänge während der Erkrankung an der Kalkchlorose in der auf Kalkböden wachsenden Weinrebe behandelt (Iljin 1943). Nun wurden auch beim Studium des Apfel- und Kirschbaums die gleichen Untersuchungsmethoden angewandt.

Mit dem Begriff Chlorose bezeichnen die meisten Forscher den teilweisen oder vollständigen Verlust der grünen Farbe, der mit Gelb- oder Weißwerden der Blätter verbunden ist. Das Vergilben kann aus verschiedenen Gründen stattfinden, wie Lichtmangel, Virusinfektion, Mangel an Wasser, Salzen, Stickstoff usw. Durch ungünstige äußere Bedingungen verkümmert das Chlorophyll oder es wird vernichtet. Dies kann durch verschiedene Ursachen begründet und von verschiedenen biochemischen Vorgängen begleitet sein, die auch von einander widersprechenden Faktoren bedingt sind. Das Studium nur der äußeren, die Chlorose hervorrufenden Bedingungen kann nämlich die Frage nach den Ursachen der Krankheit nicht lösen. Ein tiefer Einblick in die Biochemie der kranken Teile ist vielmehr dafür erforderlich.

Sehr charakteristisch ist das Vergilben von vielen Pflanzen auf kalkreichen Böden. Den Landwirten ist diese Art der Chlorose seit langem gut bekannt. Die Kalkchlorose hemmt die Entwicklung der Pflanzen und bringt der Landwirtschaft einen unersetzlichen Schaden, z. B. kommt das Wachstum der chlorotischen Lupine schon in den ersten Entwicklungsstadien zum Stillstand.

[1] Ich danke dem „Forschungsdienst“ für die dauernde Unterstützung meiner Arbeiten über Kalkchlorose und der Kurverwaltung der Stadt Baden für die in den Jahren 1941—1943 gewährte Gastfreundschaft.

Nach der Meinung der meisten Forscher liegt die Ursache der Kalkchlorose in der alkalischen Bodenreaktion, welche die Löslichkeit des Eisens vermindert und dadurch dessen Eindringen in die Pflanze verhindert. Diese Theorie aber erklärt nicht alle Beobachtungen und stößt auf eine Reihe widersprechender Tatsachen, wie ich schon in meinen früheren Arbeiten gezeigt habe (Iljin 1942, 1943 und 1944).

Die verschiedenen Arten der Chlorose sind von verschiedenartigen physiologischen und biochemischen Vorgängen begleitet. Die chemische Zusammensetzung der chlorotischen Pflanzen auf alkalischen und sauren Böden unterscheidet sich, wie meine Beobachtungen gezeigt haben, sehr scharf, obwohl das Aussehen sehr ähnlich ist. Die zahlreiche Literatur befaßt sich fast ausschließlich mit den äußeren Bedingungen, unter welchen die Krankheit erscheint oder schwindet. Es werden Vermutungen ausgesprochen, Tatsachenmaterial fehlt jedoch fast vollkommen. In meinen früheren Arbeiten habe ich schon gezeigt, daß die Kalkchlorose der verschiedenen Pflanzen von charakteristischen biochemischen und physiologischen Vorgängen begleitet ist. Die kranken Pflanzen unterscheiden sich von gesunden durch den Wassergehalt, durch die Ansammlung bestimmter Ionengemische, durch die Anhäufung löslicher Stickstoffverbindungen und bei vielen Pflanzen durch die Erzeugung bedeutender Mengen Zitronensäure. Zu letztem Typus gehören auch der Apfel- und Kirschbaum, mit welchen wir uns in dieser Arbeit befassen werden.

* *

In der Umgebung von Baden bei Wien ist eine große Anzahl von Obstbäumen in stärkerem oder geringerem Grade von der Chlorose befallen. Viele Bäume kranken Jahr für Jahr, wobei sich ein allmähliches Absterben einzelner Zweige und ganzer Pflanzen beobachten läßt.

In dieser Gegend gehört ein vollständig gesunder Baum mit durch die ganze Saison grün bleibenden Blättern zu den Seltenheiten. Sehr viele Bäume treiben anfangs grüne Blätter, mitten im Sommer jedoch oder im Herbst erscheinen an ihnen Schößlinge von gelber oder gelbgrüner Färbung. Solche Pflanzen befinden sich im ersten Krankheitsstadium. Trotz der grünen Farbe sind sie schon von der Krankheit ergriffen, diese bekundet sich noch nicht durch Schwinden des Chlorophylls, aber physiologische und biochemische Anzeichen der Erkrankung sind schon vorhanden.

Wie die Analysen zeigen, wird die Kalkchlorose von Veränderungen in der Zusammensetzung der organischen Säuren, der

Stickstoffverbindungen und der Salze begleitet. Diese Veränderungen weisen auf die Erkrankung hin und lassen voraussehen, ob der grüne Baum fernerhin grüne oder entfärbte Blätter erzeugen wird. Gewöhnlich offenbart sich die Krankheit nicht plötzlich, die ersten sich entwickelnden Blätter sind grün, erst die folgenden beginnen zu vergilben. Dieses läßt sich am Apfel-, Birn- und Kirschbaum, am Flieder, Jasmin, an der Robinie, der Quitte, der Heckenrose, am Holunder und am Geißblatt und vielen anderen Pflanzen beobachten. Die dem Kalk gegenüber so sehr empfindliche gelbe Lupine entwickelt zuerst auch grüne Blätter und später gelbe. Die chemische Analyse gestattet es vorauszubestimmen, ob sich grüne oder chlorotische Blätter entwickeln werden.

Wenn eine auf Kalkboden erkrankte Pflanze die grüne Färbung behalten kann, wäre es nicht richtig, diese Krankheit Chlorose zu nennen. Auf Grund meiner ersten Beobachtungen (Iljin 1942) schlug Höfler (1942) vor, die auf Kalkböden vorkommende Krankheit Kalziose zu benennen. Diese Benennung zeugt bloß davon, daß hier die Ursache in den Bodeneinflüssen liegt. Die Kalziose kann auch ohne Chlorose eintreten, wenn die Blätter schon voll entwickelt sind. Die Krankheit tritt in einer für unser Auge unsichtbaren Form auf und kann dann nur durch biochemische Analysen erkannt werden. Ich beabsichtige, obige Erwägungen in einer speziellen Arbeit durch umfassenderes Tatsachenmaterial zu bekräftigen; auch der vorliegende Artikel enthält Daten in dieser Richtung.

* * *

Wenden wir uns jetzt zur Erkrankung des Apfelbaumes auf Kalkböden in der Umgebung von Baden bei Wien. Das erste Erkrankungsstadium wird also von keiner Veränderung der grünen Färbung schon voll entwickelter Blätter begleitet, nur die sich neu bildenden jungen Blätter vergilben. Das Vergilben kann schwach ausgeprägt oder nur lokal sein: auf dem Blatt erscheinen Flecke oder Streifen. Im folgenden Stadium gewinnt die gelbe Färbung an Intensität, sie verbreitet sich mehr und mehr über die Oberfläche des Blattes und kann schließlich ins Weiße übergehen. Bei sehr heftig auftretender Kalziose beginnen die Blattspitze und die Ränder abzusterben und zu vertrocknen, die Blätter fallen mitten im Sommer ab und einige Zweige stehen entlaubt da wie im Spätherbst oder im Winter.

Die Krankheit übt ihren Einfluß auch auf die Fruchtbildung aus. Bei schwacher Vergilbung der Blätter trägt der Baum reichlich Früchte, bei starker Vergilbung jedoch gibt er wenig Früchte und diese sind meist klein. Gewöhnlich werden nicht alle Zweige eines

Baumes gleichmäßig von der Krankheit ergriffen; wenn ein ganzer Zweig grün bleibt, kann er reichlich Früchte bilden; an Zweigen mit gelben Blättern fehlen diese jedoch.

Meine Beobachtungen umfaßten Bäume der allerverschiedensten Erkrankungsstadien, von grünen bis zu gelbweißen mit absterbenden Blättern. Es wurde folgendes Material erforscht: Im Sommer 1941 wurden einzelne Proben von grünen und gelben Blättern untersucht, sowohl von jungen, wie auch von ganz entwickelten; ein Baum war stark von der Chlorose ergriffen, seine Blätter waren im Absterben begriffen und fielen ab.

Im Sommer 1942 wurden vom 24. VI. bis 21. IX. einmal im Monat Proben von einem typischen chlorotischen Baume untersucht, sowie von einem anderen Baum, der zuerst nur grüne Blätter trug, später jedoch junge Blätter mit schwach ausgeprägter Chlorose bildete.

Im Sommer 1943 wurden systematisch Beobachtungen an drei Apfelsorten durchgeführt, die in der Weinbauschule in Gumpoldskirchen aufgezogen waren. Folgende drei Sorten wurden gewählt, die sechs verschiedene Untersuchungen gewährten:

1. „Gelber Edelapfel“. Von dieser Sorte wurde ein vollkommen grüner Baum untersucht, der keinerlei Anzeichen der Krankheit aufwies, weder an alten, noch an jungen Blättern. Nur im nächsten Jahre erschienen die ersten Spuren von Chlorose. 2. Dieselbe Sorte. Ein gut entwickelter Baum, jedoch schon von der Krankheit befallen, einige Zweige zeigten schwächere, andere hingegen stärkere Spuren der Krankheit; die ersteren trugen reichlich Früchte, die letzteren nur sehr spärlich. 3. „Gelber Bellefleur“. Der Baum war grün, an vielen Blättern sah man jedoch gelbliche Flecke — ein Beweis dafür, daß es sich hier um einen sehr schwachen Grad der Kalziose handelte. 4. Dieselbe Sorte. Alle Blätter zeigten Spuren einer deutlich ausgeprägten Krankheit, der Baum war schwach entwickelt, trug wenig oder nur kleine Früchte, die Blätter waren in der Masse gelblichgrün, ja sogar gelbweiß mit grünen Adern. 5. „Kanada Reinette.“ Ein gut entwickelter Baum mit großen, kräftigen Blättern, die jedoch meist mit schwachen gelben Flecken versehen waren, obwohl die grüne Färbung vorherrschte. Die Früchte waren reichlich und normal entwickelt. 6. Dieselbe Sorte. Ein schwächlicher Baum mit durchwegs gelben oder gelbweißen Blättern, nur die Adern waren grün gefärbt, die Ränder starben ab, Früchte gab es kaum.

Außer diesen Apfelbäumen wurden in derselben Saison einmalig geprüft: ein Baum mit vollkommen grünen Blättern in Franzensbad am 10. VII., ferner ein Baum, ebenfalls mit grünen

Blättern, in Baden am 23. IX. und schließlich in Gumpoldskirchen am 21. VIII. ein Baum der Sorte „Weißer Winterkalvill"; dieser war sehr heftig von der Kalziose ergriffen, seine Blätter waren gelb, starben und trockneten an den Rändern ab, ein Teil der Zweige war entblößt.

* *

Zur Prüfung der Kirsche wurden zwei Sorten gewählt — „Gelbe Knorpelkirsche" und „Johanniskirsche", die auf stark kalkhaltigem Boden im Garten der Weinbauschule in Gumpoldskirchen wuchsen. Im Garten gab es keinen einzigen vollkommen gesunden Kirschbaum, alle waren mehr oder weniger heftig von der Kalziose befallen. Am gesündesten war ein Baum der Sorte „Gelbe Knorpelkirsche"; dieser war gut entwickelt, trug kräftige Blätter und reichlich Früchte. Die Blätter waren grün, jedoch zeigten die meisten schon gelbliche Flecken. An einem zweiten Baume waren alle Blätter von der Kalziose ergriffen, einige heftiger, andere schwächer. Diejenigen Zweige, die während des Sommers getrieben waren, trugen stark chlorotische, gelbweiße Blätter, die nicht nur kein Chlorophyll, sondern auch keine gelben Pigmente enthielten; die Ränder vertrockneten und starben häufig ab.

Von der Sorte „Johanniskirsche" wurden drei Bäume geprüft. Der eine war relativ schwach erkrankt, jedoch waren alle seine Blätter mehr oder weniger ausgesprochen chlorotisch; besonders krank waren die jungen Triebe, die, wie bei der vorbesprochenen Sorte, weißlichgelbe Blätter mit absterbenden Rändern bildeten.

Noch schärfer waren alle diese Merkmale am zweiten Baume ausgeprägt. Der dritte Baum jedoch war am heftigsten erkrankt, hier waren viele Zweige schon zu Beginn der Saison von gelblichweißen Blättern mit wenig Chlorophyllgehalt und absterbenden Rändern bedeckt. Nur zweimal gelang es, Proben von diesen Zweigen zu gewinnen, am 21. V. und am 12. VI., späterhin waren diese Zweige entlaubt; die dritte Probe am 19. VII. wurde von anderen Zweigen genommen, die nicht so heftig erkrankt waren.

Am Kirschbaum werden, wie dies sich auch an anderen Pflanzen beobachten läßt, nicht alle Blätter und Zweige im gleichen Ausmaße von der Kalziose ergriffen. Deshalb fällt es schwer, eine Durchschnittsprobe zu gewinnen, da der Unterschied zwischen den einzelnen Zweigen ein recht bedeutender sein kann. Auf diese Weise entstehen Schwankungen in den einzelnen, zu verschiedenen Zeiten ausgeführten Proben. Besonders scharf unterscheiden sich, wie oben erwähnt, die jungen, während des Sommers gewachsenen Zweige.

* *

In meinen Versuchen wurden die Blätter untersucht, die das eigentliche Laboratorium darstellen, wo die wichtigsten organischen Substanzen für den ganzen Pflanzenkörper aufgebaut werden. Die Blattproben wurden gewöhnlich um 8 Uhr morgens alle drei Wochen entnommen. Ein Teil des Materials wurde gleich am Anfang im Trockenschrank bei nicht ganz 100° getötet und allmählich bei 60° getrocknet. Dieses Material wurde zur Bestimmung der Wassermenge und bei den Analysen der Gesamtsalze, des Gesamtstickstoffs und der Stärke in den Blättern verwendet. Der andere Teil der Blätter wurde durch Chloroform getötet und darauf ausgepreßt. Im Saft wurden die löslichen Substanzen, wie Salze, organische Säuren und Stickstoffverbindungen bestimmt.

1. Kapitel.

Wassergehalt.

Die kranken Blätter aller Pflanzen enthalten mehr Wasser als die gesunden. Dieselbe Erscheinung läßt sich auch am Apfelbaum beobachten. Am 16. VI. 1941 entfiel auf 1 g Trockengewicht in grünen Blättern 2,2 g Wasser und in erkrankten 3,5 g.

Zu Sommeranfang sind die Blätter reicher an Wasser, späterhin verarmen sie allmählich. 1942 konnten die Beobachtungen verhältnismäßig spät begonnen werden, nämlich erst am 27. VI. Vom Beginn bis zum Ende der Saison blieb der Wassergehalt unverändert. Auf 1 g Trockensubstanz entfiel in grünen Blättern 2,0 g Wasser und in gelben anfangs 2,9 g und später 2,0 g. Die Krankheit trat besonders heftig in der ersten Hälfte des Sommers auf, wogegen im August eine Gesundung eintrat und die Wassermenge absank.

Tabelle 1. Wassergehalt auf 1 g Trockengewicht.

Datum	11.V.	1.VI.	22.VI.	29.VII.	21.VIII.	14.IX.	5.X.
Gelber Edelapfel							
Grüne Blätter .	2,2	2,2	2,2	1,8	1,8	1,7	1,5
Gelbgrüne Blätter	3,5	3,4	2,7	2,3	2,2	2,1	2,1
Gelber Bellefleur							
Grüne Blätter . .	2,5	2,3	2,0	1,8	1,7	1,6	1,6
Gelbgrüne Blätter	3,4	2,9	2,1	1,9	1,9	1,7	1,6
Kanada Reinette							
Grüne Blätter	2,8	2,6	2,5	2,1	2,0	1,8	1,8
Gelbe Blätter	3,7	3,5	2,9	2,4	2,3	1,9	1,8

Der Wassergehalt bei den verschiedenen Sorten der Apfelbäume während der Saison 1943 ist auf Tab. 1 und in Kurven auf Abb. 1 veranschaulicht. Wie die Zahlen zeigen, sind bei allen drei Sorten die kranken Blätter reicher an Wasser, der größte Unterschied zwischen grünen und gelben Blättern tritt am Anfang der Saison zutage, zu welcher Zeit die Krankheit am stärksten ausgeprägt war und die abnormalen biochemischen Vorgänge, wie wir unten sehen werden, sehr energisch auftraten. Gegen Ende der Saison nähern sich die Zahlen, um schließlich fast übereinzustimmen. Zu diesem Zeitpunkt haben sich auch die abnormalen biochemischen Vorgänge beruhigt. Ganz am Anfang führten die grünen Blätter der 1. Sorte auf 1 g Trockengewicht 2,2 g Wasser und die gelben 3,5 g; bei der 2. Sorte entsprechend 2,5 und 3,4; bei der 3. Sorte 2,8 und 3,7 g. Die grünen Blätter der verschiedenen Sorten waren nicht im selben Grade gesund; vollkommen grüne Blätter besaß der „Gelbe Edelapfel“, diese enthielten 2,2 g Wasser; die schwach erkrankten Blätter der Sorte „Bellefleur“ enthielten 2,5 g und die etwas heftiger erkrankte „Kanada Reinette“ führte 2,8 g.

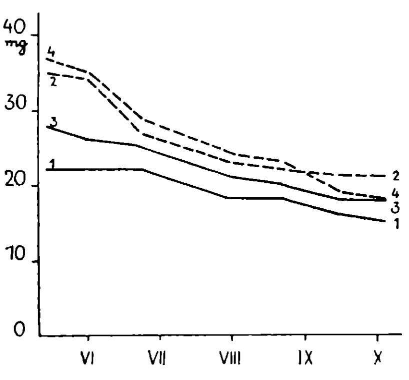


Abb. 1. Wassergehalt in Blättern auf 1 g Trockengewicht. Gelber Edelapfel: *1* grüne Blätter; *3* grüngelbe Blätter. Kanada Reinette: *2* grüne Blätter; *4* gelbe Blätter.

Die Kurven auf Abb. 1 beziehen sich auf die erste und dritte Sorte; für die gesunden Blätter sind sie durch eine vollausgezogene Linie abgebildet, für die kranken durch eine gestrichelte. Die Kurve der grünen Blätter der 1. Sorte läuft am tiefsten, über dieser befindet sich die Kurve der grünen Blätter der 3. Sorte; etwas höher sehen wir die Kurve der kranken Blätter der 1. Sorte und noch höher die Kurve der 3. Sorte mit am stärksten ausgeprägter Kalziose.

Die Zahlenwerte der Tab. 2 zeigen den Wassergehalt bei den grünen und chlorotischen Blättern der Kirsche. Die Genesung bewirkt eine Annäherung der kranken und der gesunden. Letzteres tritt besonders deutlich hervor bei der Sorte „Gelbe Knorpelkirsche“. Bei den ersten drei Messungen war der Unterschied im Erkrankungsgrad der beiden Bäume sehr groß. Die Blätter des

Tabelle 2. Wassergehalt auf 1 g Trockengewicht beim Kirschbaum.

Datum	21.V.	12.VI.	19.VII.	12.VIII.	6.IX.	30.IX.
Gelbe Knorpelkirsche						
Grüne Blätter .	2,44	2,26	2,11	1,76	1,62	1,65
Gelbgrüne Blätter	3,76	3,56	2,90	1,65	—	1,60
Gelbweiße Blätter	—	—	—	3,31	2,61	2.45
Johanniskirsche						
Grüngelbe Blätter	2,26	2,50	3,32	—	2,00	1,90
Gelbweiße Blätter	4,08	4,03	3,10	—	—	—
Gelbweiße Blätter	—	—	—	2,91	2,64	2,37

einen waren vorwiegend grün und ärmer an Wasser. In der zweiten Hälfte des Sommers wurden gesündere Blätter dieses Baumes geprüft, diese enthielten die gleiche Menge Wasser wie die gesunden. Hingegen waren die zur selben Zeit vom selben Baum untersuchten stark erkrankten Blätter wieder reicher an Wasser. Analoge Erscheinungen wurden auch an der Sorte „Johanniskirsche" beobachtet, wie aus den Zahlenwerten der Tab. 2 ersichtlich ist.

Die angeführten Daten bestätigen vollkommen die früheren Beobachtungen; je heftiger die Blätter von der Kalziose befallen sind und je intensiver in diesen sich die abnormalen biochemischen Vorgänge abspielen, um so reicher sind deren Gewebe an Wasser. Die Genesung der Organe und das Abnehmen der dissimilierenden Vorgänge führt auch zu einem Rückgang des Wassergehaltes im Blatte.

Worin dürfen wir nun die Ursache der großen Ansammlung des Wassers in den kranken Pflanzen suchen? Die Entscheidung dieser Frage hat nicht nur eine theoretische, sondern auch eine methodologische Bedeutung. Die erste, auf äußeren Beobachtungen und den allgemein verbreiteten Vorstellungen über die physiologischen Vorgänge basierende Erklärung besteht darin, daß die mangelhafte Entwicklung des Chlorophylls eine Verminderung der Kohlenhydrate nach sich zieht, weshalb das Protoplast jeder einzelnen Zelle ärmer an trockener Masse und dementsprechend reicher an Wasser wird. Die Analyse der Kohlenhydrate hat jedoch diese Voraussetzung nicht bestätigt, bei einigen Pflanzen sind die kranken Blätter reicher an Kohlenhydraten. Fernerhin werden wir sehen, daß die chlorotischen Blätter mehr organische Säuren enthalten, somit über eine größere Menge Trockensubstanz verfügen; auch haben sie mehr Kalium, das im Vergleich zum Kalzium und Magnesium ein höheres Grammäquivalentgewicht aufweist. Der Gehalt an Fetten und Zellulose bleibt unbekannt.

Den größeren Wassergehalt der kranken Blätter kann man damit erklären, daß diese reicher an Salzen sind und infolgedessen intensiver Wasser aufsaugen. Wollen wir nun theoretisch berechnen, wieviel Wasser ein krankes Blatt enthalten muß, indem wir als Basis dessen durch Elektrolyse bestimmten osmotischen Druck und die zur gegebenen Zeit in dem gesunden Blatt gefundene Wassermenge gelten lassen (vgl. Tab. 24). In den grünen Blättern der „Gelben Knorpelkirsche“ war die Summe der Basen am 12. VI. gleich 0,83 n. Die Basensumme in den kranken Blättern war 1,36. Der Berechnung zufolge müßten diese 3,69 g Wasser auf 1 g Trockengewicht enthalten, der tatsächliche Befund betrug 3,56 g; die Zahlenwerte stimmen fast überein. Am 12. VIII. wurden drei verschiedene Gruppen Blätter dieser Pflanze geprüft, in denen die Konzentration der Salze 0,93, 0,86 und 1,79 n betrug. Der Wassergehalt der ersten Gruppe war 1,76 g; nach der Berechnung müßte die zweite Gruppe 1,62 g haben, tatsächlich enthielt sie 1,65 g; die dritte Gruppe müßte der Theorie nach 3,39 g führen, sie enthielt 3,31 g Wasser. Die Zahlen stimmen wieder fast vollkommen überein. Am 30. IX. ergab die theoretische Berechnung für die zweite Pflanze 1,61 g und für die dritte 2,84 g. Der tatsächliche Befund betrug entsprechend 1,60 und 2,45 g. Zu denselben Ergebnissen führten die Untersuchungen der Sorte „Johanniskirsche“, nur müssen die zu vergleichenden Blätter zu gleicher Zeit gesammelt sein.

Die theoretischen Berechnungen unterscheiden sich wenig von den praktischen Ergebnissen. Man darf keine vollständige Übereinstimmung erwarten, da hier bei verschiedenen Pflanzen sehr verschiedene Faktoren mitwirken können. Beim Vergleich der jungen Blätter mit den alten stößt man auf besonders große Schwierigkeiten. Die Bestimmung des Wassers und der Salze kann zu einem gewissen Irrtum führen. Die angeführte Erklärung des größeren Wassergehaltes in den kranken Blättern beruht auf einer theoretischen wie auch auf einer praktischen Grundlage. Der osmotische Wert hängt nicht nur von Salzen ab, sondern auch von anderen Substanzen, deshalb wird die theoretische Berechnung nicht immer mit dem praktischen Befund übereinstimmen.

2. Kapitel.

Der Stoffwechsel des Stickstoffes.

Der Stoffwechsel des Stickstoffes ist bei der Erkrankung an der Kalziose sehr charakteristisch. Es wurde von mir bestimmt: der gesamte Stickstoff im ganzen Blatt, der im Saft aufgelöste

Stickstoff , der Aminosäuren- und Amidenstickstoff und schließlich der Stickstoff der löslichen Eiweißstoffe und der Basen.

I. Der Gesamtstickstoff.

Der Gesamtstickstoff wurde nach der Kjeldahlischen Methode in trockenen Blättern bestimmt.

Die Gesamtmenge des Stickstoffes in kranken Blättern kann größer oder geringer sein, je nachdem, in welchem Krankheitsstadium die Bestimmung durchgeführt wurde. Im Frühling und zu Beginn der Krankheit enthalten die kranken Blätter mehr Stickstoff, hingegen im Sommer und im Herbst weniger als die grünen Blätter. Die gleichen Ergebnisse gewinnt man sowohl bei einer Berechnung auf das Trockengewicht, als auch auf die Zellsafteinheiten. Letzterer Umstand ist für uns sehr wichtig, denn die chlorotischen Pflanzen enthalten mehr Wasser, sind folglich ärmer an trockener Substanz. Deshalb kann diese oder jene Berechnungsmethode die Endergebnisse wesentlich beeinflussen. Nehmen wir an, daß zwei Zellen gleiche Mengen Wasser und Stickstoff enthalten, wobei die eine reicher an Kohlenhydraten ist. Bei der Berechnung pro Trockengewichtseinheit wird die erste Zelle prozentuell weniger Stickstoff enthalten als die zweite; bei Berechnung auf die Zellsafteinheit bleiben die Stickstoffmengen in beiden Zellen gleich. Wenn hingegen der Gehalt an Stickstoff und Kohlenhydraten gleich und nur die Wassermenge verschieden ist, so wird bei einer Berechnung auf den Zellsaft diejenige Zelle ärmer an Stickstoff sein, die reicher an Wasser ist. Wie oben gezeigt wurde, verändert sich die Wassermenge in der Zelle sehr leicht im Zusammenhang mit dem osmotischen Wert und mit der Menge der löslichen Salze. Diese Einheit ist weniger beständig und mehr veränderlich als die Trockengewichtseinheit. Weiterhin werden wir in erster Linie die Berechnungen pro Trockengewicht anführen. Für besonders wichtige Fälle wird auch gleichzeitig die Berechnung auf 1 ccm Saft angegeben werden. Zur Gesamtstickstoffbestimmung wurde das trockene Material verwendet.

Die allererste Prüfung des Apfelbaumes am 16. VI. 1941 ergab einen ungemein hohen Gehalt an Stickstoff in kranken Blättern — auf 1 g Trockengewicht 50,3 mg Stickstoff —, während die grünen Blätter 25,0 mg enthielten. Auf 1 ccm Saft war in ersten 16,8 mg und in letzten 12,0 mg enthalten. Am 28. VII., im selben Jahre, wurde in den gelben Blättern eines anderen Apfelbaumes pro Trockengewichtseinheit 24,1 mg bestimmt und in grünen Blättern 22,0 mg. Diese Bestimmung wurde sehr spät, schon

im Sommer, durchgeführt, weshalb der Unterschied ein unbedeutender war.

1942 wurden die Bestimmungen erst Ende Juni begonnen, Proben wurden aufeinanderfolgend genommen: am 28. VI. — 27. VII. — 19. VIII. — 25. IX. In allen Fällen waren die gelben Blätter ärmer an Gesamtstickstoff; je später im Jahre die Bestimmungen stattfanden, um so größer war der Unterschied zwischen kranken und gesunden Blättern. In grünen Bäumen wurde nacheinander 27,5 — 29,2 — 29,0 — 27,6 mg, in typisch chlorotischen 21,0 — 19,4 — 15,8 — 16,4 mg bestimmt. Gelb werdende Blätter an grünen Bäumen enthielten Durchschnittsmengen an Stickstoff.

Tab. 3 bringt die Ergebnisse der Analysen vom Jahre 1943 in drei Sorten Apfelbäumen auf 1 g Trockengewicht. Die Versuche

Tabelle 3. Gesamtstickstoff auf 1 g Trockengewicht in mg.

Datum	11.V.	1.VI.	22.VI.	29.VII.	22.VIII.	14.IX.	5.X.
Gelber Edelapfel							
Grüne Blätter .	29,4	28,7	31,2	34,2	28,2	26,0	21,7
Gelbgrüne Blätter	41,4	30,0	28,5	28,1	23,4	23,8	20,6
Gelber Bellefleur							
Grüne Blätter .	23,9	24,1	25,6	24,6	22,5	20,0	19,0
Gelbgrüne Blätter	45,1	34,5	28,2	24,2	23,0	19,9	18,6
Kanada Reinette							
Grüne Blätter	29,0	30,0	30,2	25,6	24,8	21,3	20,7
Gelbe Blätter	48,9	36,0	31,5	23,0	22,8	19,1	18,0

wurden in diesem Jahre bedeutend früher begonnen. Bei der ersten Bestimmung enthielten die grünen Blätter aller drei Sorten beträchtlich weniger an Gesamtstickstoff als die gelben, und zwar von 23,9 bis 29,8 mg, während die letzteren von 41,4 bis 48,9 mg aufwiesen. Bei der Berechnung auf 1 ccm Saft wurden für erstere 9,6 bis 11,8 mg und letztere 13,2 bis 13,4 mg festgestellt.

In den grünen Blättern steigt der Gesamtstickstoff in der ersten Zeit an. Je gesünder der Baum, desto intensiver ist der Anstieg und desto länger dauert dieser. Am gesündesten Baum der Sorte „Gelber Edelapfel" stieg der Stickstoff vom 11. V. bis 29. VII. von 29,4 auf 34,2 mg, also um 16%. Bei einem grünen Baum „Kanada Reinette", der schon Anzeichen der Erkrankung trug, dauerte der Stickstoffanstieg kürzere Zeit und betrug nur um 4%. Auch von kurzer Dauer und weniger intensiv als bei der ersten, jedoch größer als bei der letzten Sorte, war der Anstieg des Stickstoffs

bei der nur schwach von der Kalziose ergriffenen Sorte „Gelber Bellefleur".

Nach dem Anstieg des Stickstoffs vollzieht sich dessen Abnahme, hauptsächlich gegen den Herbst zu. Bei der Sorte „Gelber Edelapfel" sank der Gehalt von 34 auf 21,7 mg, bei der Sorte „Gelber Bellefleur" von 25,6 auf 18,0 und bei „Kanada Reinette" von 30,2 auf 20,7 mg.

Im Sommer 1942 wurden dieselben Beobachtungen an gesunden Blättern eines Spalierapfelbaums gemacht; vom 27. VI. bis zum 25. IX. vollzogen sich folgende Veränderungen im Gehalt an Gesamtstickstoff, der einmal monatlich bestimmt wurde: 27,5 — 29,2 — 29,0 — 27,6 mg. Beim Vergleich der Beobachtungen der verschiedenen Jahre ergibt es sich, daß die Menge des Gesamtstickstoffes in den verschiedenen Apfelsorten in gewissen bestimmten Grenzen schwankt, ungefähr von 20 bis 30 mg auf 1 g Trockengewicht.

Bei kranken Pflanzen fällt der Hochstand an Stickstoff auf das Frühjahr. In dieser Zeit enthalten sie viel mehr Stickstoff als normale grüne Pflanzen, und zwar von 41,4 bis 48,9 mg. Darauf sinkt seine Menge geschwind, besonders während der ersten Monate; schon im Juli enthalten die gelben Blätter davon weniger als die grünen. Späterhin verläuft die Abnahme langsamer, ungefähr wie in normalen Organen. Der Zerfallprozeß der Stickstoffverbindungen verläuft besonders stürmisch zu Beginn der Saison, zu welcher Zeit die Krankheit energisch auftritt; späterhin vollzieht sich der Vorgang normal gleich wie in gesunden Pflanzen. Je heftiger die Pflanze von der Krankheit ergriffen ist, um so mehr nimmt die Menge des Gesamtstickstoffes ab, vom Mai bis Juli verringerte sich sein Gehalt bei der ersten Sorte von 41,4 auf 28,1 mg, also um 32%, bei der zweiten Sorte von 45,1 auf 24,2 mg, also um 46%, bei der dritten Sorte von 48,9 auf 23,0 mg, also um 53%. Bei ganz gesunden Pflanzen steigt dagegen die Stickstoffmenge in derselben Zeit.

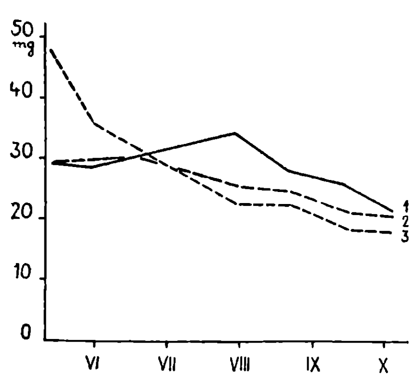


Abb. 2. Gesamtstickstoff auf 1 g Trockengewicht: *1* grüne Blätter des Gelben Edelapfels; *2* gelbe Blätter der Kanada Reinette.

Die Kurven der Abb. 2 veranschaulichen durch die vollausgezogene Linie (1) die Ver-

änderungen in den gesunden Blättern der Sorte „Gelber Edelapfel“ und durch die punktierte Linie (2) in den gelben Blättern der Sorte „Kanada Reinette“, die besonders heftig von der Kalziose befallen waren. Die erste Kurve steigt allmählich an bis zur Mitte des Sommers, um gegen den Herbst zu wieder allmählich zu sinken. Die zweite Kurve steht anfangs sehr hoch, sinkt dann scharf und bleibt tiefer als die erste. Späterhin wird das Senken minder intensiv, die Kurve verläuft ählich wie die erste, jedoch niedriger als diese.

Das gleiche Bild liefert auch die Kirsche. Die kranken Blätter enthalten beim Beginn der Krankheit im Vergleich zu den gesunden mehr Gesamtstickstoff; späterhin tritt dessen intensive Abnahme in den kranken Organen hervor, weshalb diese ärmer an Stickstoff erscheinen.

Die gesündesten Blätter führt ein Baum der Sorte „Gelbe Knorpelkirsche“. Bei der ersten Bestimmung enthielten diese auf 1 g Trockengewicht 28,8 mg Gesamtstickstoff. Der zweite Baum derselben Sorte mit deutlich ausgeprägten Krankheitserscheinungen und gelbgrünen Blättern hatte schon 35,7 mg (s. Tab. 4).

Tabelle 4. Gesamtstickstoff beim Kirschbaum, in mg auf 1 g Trockengewicht.

Datum	21.V.	12.VI.	19.VII.	12.VIII.	6.IX.	30.IX.
Gelbe Knorpelkirsche						
Grüne Blätter . .	28,8	29,3	26,7	24,8	22,1	21,0
Gelbgrüne Blätter	35,7	30,3	25,2	24,5	—	22,1
Gelbweiße Blätter	—	—	—	29,6	22,2	22,5
Johanniskirsche						
Grüngelbe Blätter	38,0	33,0	31,2	31,4	28,6	26,4
Gelbweiße Blätter	42,2	44,0	35,9	—	—	—
Gelbweiße Blätter	46,2	—	—	39,1	32,7	25,7

Ein schwach erkrankter Baum der Sorte „Johanniskirsche“ enthielt bei der ersten Prüfung am 21. V. in grüngelben Blättern 38,0 mg Stickstoff. Ein zweiter deutlich chlorotischer Baum führte 42,6 mg und ein sehr heftig erkrankter Baum 46,2 mg. Hier waren alle drei Bäume krank und alle hatten bedeutend mehr Stickstoff als der grüne Baum der ersten Sorte (28,8 mg). Ein vollkommen gesunder, in Franzensbad analysierter Kirschbaum enthielt nur 22,6 mg, während ein gleicher Baum in Prag 24,2 mg führte.

Auch sind die mitten im Sommer entwickelten Blätter immer reicher an Stickstoff. So behielt der gesunde Baum der Sorte „Johanniskirsche“ bis zum 19. VII. 31,2 mg Stickstoff, während

die jungen Triebe in den gelblichweißen Blättern 35,1 mg enthielten. Am zweiten Baum dieser Sorte wurde am 12. VIII. in den gelbgrünen Blättern 31,4 mg gefunden, und in den neuentwickelten gelblichweißen 39,1 mg. Bei der Sorte „Gelbe Knorpelkirsche" enthielten die gelbgrünen 25,5 und die gelbweißen 29,6 mg.

Im weiteren Verlauf nimmt der Gesamtstickstoff ab, wie in den gesunden, so auch in den kranken Pflanzen. In diesen vollzieht sich der Vorgang jedoch energischer, wogegen in den ersteren zu Anfang eine Steigerung stattfinden kann, wie wir dies beim Apfelbaum sehen. Deshalb ist der Beginn der Beobachtungen von großer Bedeutung; beginnen diese später, so kann die Anhäufung des Stickstoffs in den kranken Organen gänzlich versäumt werden. Die Beobachtungen müssen periodisch vom Beginn der Vegetation an durchgeführt werden. Meine Analyse mit dem Kirschbaum begann verhältnismäßig spät und deshalb stellen die gewonnenen Ergebnisse nicht das volle Bild der Erkrankung an der Kalziose dar.

Die Abnahme des Gesamtstickstoffs in kranken Blättern wird von der Genesung der Pflanze begleitet. Wogegen die Blätter, die ihren Stickstoff behalten, absterben können, wie wir dies bei dem dritten Baum der Sorte „Johanniskirsche" beobachten: anfangs wurde in ihnen 46,2 mg und dann 44,0 mg gefunden, für weitere Messungen war kein Material mehr vorhanden.

Der Schwund des Gesamtstickstoffs geht in den erkrankten Pflanzen intensiver vor sich als in den gesunden. Bei der Kirsche hält sich die allgemeine Stickstoffmenge in den kranken Bäumen während der ganzen Saison auf beträchtlicher Höhe. Hingegen geht bei anderen Pflanzen, wie Apfelbaum oder Weinrebe, der Stickstoffschwund so weit, daß dessen Menge geringer in kranken als in normalen Pflanzen ist oder diesen gleich kommt. Zu dieser Zeit genesen die Blätter gewöhnlich, die abnormalen physiologischen Vorgänge flauen ab und die Pflanze kann vollkommen gesund werden. Die Kirschbäume blieben fast immer krank. Hieraus kann man schließen, daß das Vorhandensein einer großen Menge Stickstoff mit der Erkrankung im Zusammenhang steht und daß die Pflanze in ihrem Kampf mit dieser den Stickstoff entfernt. Wenn die Krankheit bei der Kirsche zurückgeht, fällt auch der Stickstoffgehalt. Das ist bei der „Gelben Knorpelkirsche" der Fall, wie durch den äußeren Anblick und durch die chemische Analyse verschiedener Stoffe bestätigt wurde. In den weißgelben Blättern eines Baumes der Sorte „Johanniskirsche" beharrt die Stickstoffmenge auf gleicher Höhe, ohne sich der der normalen zu nähern. Fast alle ihre Blätter sind schon im Juli abgestorben.

II. Der lösliche Stickstoff.

Der lösliche Stickstoff wurde im filtrierten Saft durch Verbrennen nach der Kjeldahlschen Methode bestimmt.

In allen Pflanzen wird die Erkrankung an der Kalziose von der Erzeugung großer Mengen löslichen Stickstoffes begleitet, besonders im Frühjahr, zu welcher Zeit die Krankheit stark progressiert. Je stärker die Kalziose ist, um so mehr Stickstoff befindet sich im Saft. Die allererste Untersuchung des Apfelbaums am 16. VI. 1941 ergab für normale grüne Blätter 2,8 mg Stickstoff auf 1 g Trockengewicht, für gelbe Blätter 21,1 mg, das heißt 7,5mal soviel. Bei der Berechnung auf 1 ccm Saft enthielten die ersteren 1,3 und die letzteren 6,0 mg. Nicht weniger auffallende Ergebnisse wurden im Sommer 1943 gewonnen.

Für die drei Sorten der Apfelbäume sind die Analysen in der Tab. 5 angeführt. Der größte Unterschied zwischen den gesunden

Tabelle 5. Der lösliche Stickstoff in mg auf 1 g Trockengewicht beim Apfelbaum.

Datum	11.V.	1.VI.	22.VI.	29.VII.	21.VIII.	14.IX.	5.X.
Gelber Edelapfel							
Grüne Blätter .	1,72	1,84	1,91	2,02	2,37	2,26	1,70
Gelbgrüne Blätter	12,75	9,08	3,64	3,68	3,64	3,12	1,83
Gelber Bellefleur							
Grüne Blätter .	2,08	1,93	2,08	2,32	2,37	2,03	1,45
Gelbgrüne Blätter	16,15	13,15	6,72	6,62	6,03	5,46	4,90
Kanada Reinette							
Grüne Blätter	2,71	3,00	3,75	3,22	4,62	2,56	1,90
Gelbe Blätter	22,60	17,20	8,88	6,47	8,50	3,66	3,02

und kranken ergab sich bei der ersten Bestimmung am 11. V. Wie schon erwähnt, waren nicht alle Sorten der Apfelbäume gleich gesund oder gleich krank. Von der Sorte „Gelber Edelapfel“ war der eine Baum völlig gesund, ein zweiter teils heftiger und teils weniger stark von der Kalziose befallen. Von der Sorte „Gelber Bellefleur“ führte ein gesunder Baum zum Teil völlig grüne Blätter, zum Teil jedoch auch schon von der Krankheit ergriffene. Ein zweiter Baum war sichtlich chlorotisch und trug kaum Früchte. Von der dritten Sorte schließlich („Kanada Reinette“) trugen schon fast alle Blätter des grünen Baumes Spuren der Erkrankung, während am kranken Baum die Blätter gelb waren und mitten im Sommer an den Rändern abzusterben begannen.

Mit der Krankheit stieg auch der Gehalt an löslichem Stickstoff. Bleiben wir zuerst bei den grünen Bäumen. Bei der ersten Bestimmung am 11. V. fiel bei der ersten Sorte auf 1 g Trockengewicht 1,72 mg Stickstoff im Saft; bei der zweiten Sorte 2,08 mg und bei der dritten 2,71 mg; es wurde also ein allmählicher Anstieg beobachtet. Die chlorotischen Blätter der ersten Sorte enthielten 12,75, der zweiten Sorte 16,15 und der dritten 22,60 mg. In der ersten Pflanze war der Stickstoffgehalt 7,4mal, in der zweiten 7,7mal und in der dritten 8,3mal größer. Im Vergleich zu den völlig gesunden Blättern der ersten Sorte ist der Stickstoffgehalt in den heftig erkrankten Blättern der dritten Sorte 13,1mal höher.

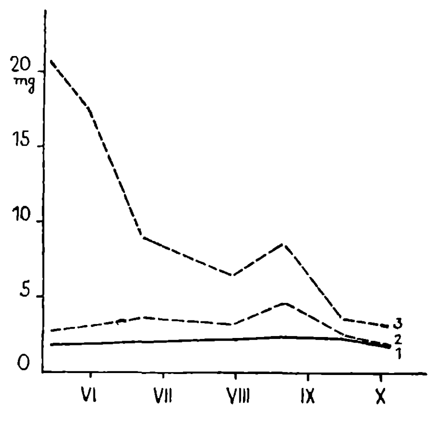


Abb. 3. Löslicher Stickstoff auf 1 g Trockengewicht: *1* grüne Blätter des Gelben Edelapfels; *2* grüne Blätter der Kanada Reinette; *3* gelbe Blätter der Kanada Reinette.

In grünen Blättern steigt der Gehalt an löslichem Stickstoff bis zum August ein wenig an, um gegen den Herbst zu wieder abzunehmen. Im allgemeinen sind die Veränderungen jedoch nicht bedeutend, wie aus den Kurven der Abb. 3 ersichtlich. Die unterste Kurve (1) bringt die Ergebnisse der Analysen der grünen Blätter der Sorte „Gelber Edelapfel", die folgende (2) die der grünen Blätter der Sorte „Kanada Reinette" und schließlich die oberste (3) die der gelben Blätter derselben Sorte. In von der Kalziose ergriffenen Pflanzen nimmt, wie die letzte Kurve zeigt, der lösliche Stickstoff in den ersten zwei Monaten beträchtlich ab, und zwar zu der Zeit, zu welcher sich der Schwund des Gesamtstickstoffes in der Pflanze vollzieht, worauf im vorigen Kapitel hingewiesen wurde. Weiterhin nimmt die Verringerung ein langsameres Tempo an und gegen den Schluß der Saison nähert sich die Kurve der kranken Pflanzen derjenigen der gesunden. Völlig übereinstimmende Kurven für die kranken Blätter der beiden anderen Sorten gewinnen wir, wenn wir die Ergebnisse der Analysen auf der Abbildung veranschaulichen. Die Erkrankung an der Kalziose wird durch einen hohen Stand der Kurven im Frühjahr während der akuten Krankheitsperiode gekennzeichnet, worauf eine steile Abnahme verhältnismäßig rasch vor sich geht. Weiterhin nähert sich

der Verlauf dem normalen Typus. Dieser Vorgang tritt bei der Sorte „Gelber Edelapfel“ besonders deutlich hervor: zu Beginn der Saison war der Unterschied zwischen den gesunden und den kranken sehr groß — 1,72 bei den ersten und 12,75 mg bei den zweiten, zum Schluß war der Unterschied fast völlig ausgeglichen —, 1,70 bei den ersten und 1,83 mg bei den zweiten.

Bei der dritten Sorte stieg die Menge des löslichen Stickstoffes im September wieder und die Kurve richtet sich auf, um später wieder zu sinken. Dasselbe gilt für die Zitronensäure (s. unten). Die beschriebene Veränderung läßt sich durch die Verstärkung der Krankheit zu dieser Zeit erklären; diese konnte man auch am Äußeren der Blätter erkennen; ein feineres Reaktiv kann selbstverständlich nur die biochemische Analyse liefern.

Im selben Jahre wurden gesunde Pflanzen in Franzensbad und in Baden untersucht, die ersten enthielten am 10. VII. 31,9 mg Gesamtstickstoff und 1,53 mg löslichen Stickstoff, während die zweiten am 23. IX. 23,8 mg Gesamt- und 2,37 mg löslichen Stickstoff führten. Diese Zahlengrößen unterscheiden sich nicht viel von den oben erwähnten.

1942 wurde vom 28. VI. bis 25. IX. in den grünen Blättern von 0,70 bis 1,41 mg des löslichen Stickstoffes bestimmt, in vergilbenden von 1,50 bis 1,99 mg in völlig gelben, anfangs 2,79 mg und am Schluß der Saison 1,36 mg. Da die Beobachtungen in diesem Jahre zu spät begonnen wurden, fehlt der erste Teil der Kurven und wir sehen nur deren zweiten Teil mit dem allmählichen Abstieg und dem Annähern an den normalen Typus.

In normalen Blättern schwankt die Menge des löslichen Stickstoffes im Vergleich zum Gesamtstickstoff zwischen 2,4 % und 6,1 % und in kranken Blättern zwischen 8,9 % und 45,4 %. Bei heftig auftretender Krankheit kann fast die Hälfte der Stickstoffverbindungen in Lösung übergehen.

Auf 1 ccm Zellsaft entfiel bei der ersten Messung in grünen Blättern der Sorte „Gelber Edelapfel“ 0,78 mg löslichen Stickstoffes und in kranken 3,64 mg; bei der Sorte „Bellefleur“ in ersteren 0,83 und in letzteren 4,75 mg, bei der Sorte „Kanada Reinette“ entsprechend 0,98 und 6,10 mg. Trotz des bedeutend größeren Wassergehaltes der kranken Blätter enthalten diese auch bei der Berechnung auf den Zellsaft beträchtlich mehr löslichen Stickstoff.

Am Kirschbaum sehen wir das gleiche Bild. Die Analysenergebnisse sind in Tab. 6 angeführt und in den Kurven der Abb. 4 veranschaulicht. Die gesünderen Blätter der Sorte „Gelbe Knorpelkirsche“ (Kurve 1) enthalten verhältnismäßig wenig löslichen Stick-

Tabelle 6. Löslicher Stickstoff in mg auf 1 g Trockengewicht bei Kirschen.

Datum	21.V.	12.VI.	19.VII.	12.VIII.	6.IX.	30.IX.
Gelbe Knorpelkirsche						
Grüne Blätter .	1,93	2,36	2,36	2,11	2,54	2,00
Gelbgrüne Blätter	9,45	9,64	6,94	2,38	—	2,11
Gelbweiße Blätter	—	—	—	13,35	6,28	3,23
Johanniskirsche						
Grüngelbe Blätter	2,60	3,65	5,50	—	3,30	2,41
Gelbweiße Blätter	24,10	19,20	—	—	—	—
Gelbweiße Blätter	—	—	—	27,6	13,5	6,11

stoff — von 1,93 bis 2,54 mg —, was 7% bis 11% des Gesamtstickstoffes ausmacht. Diese Zahlen sind immerhin noch recht hoch im Vergleich zu den Zahlenwerten anderer Pflanzen, die gewöhnlich 2% bis 5% enthalten. Vielleicht unterscheidet sich die Kirsche in dieser Beziehung von anderen Pflanzen, denn in Franzensbad wurden beim gesunden Baum auch 7% löslichen Stickstoffes erfaßt. Die grüngelben Blätter der Johanniskirsche (Kurve 2) enthielten 2,41 bis 5,50 mg, also bis 18% des Gesamtstickstoffes. Der ausgesprochen chlorotische Baum „Gelbe Knorpelkirsche" (Kurve 3) enthielt 9,64 mg löslichen Stickstoff, somit 32% des Gesamtstickstoffes. Die am selben Baum gewachsenen gelblichweißen Blätter (Kurve 4) enthielten bei der ersten Messung am 12. VIII. 13,35 mg löslichen Stickstoff, also 34% des Gesamtstickstoffes. Noch höhere Zahlenwerte wurden für die an den Rändern absterbenden, gelbweißen kranken Blätter der Johanniskirsche gewonnen. Die erste Messung ergab für die einen (Kurve 5) 24,1 mg und für die anderen 27,5 mg löslichen Stickstoff oder 52% und 70% des Gesamtstickstoffes. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Zahlen-

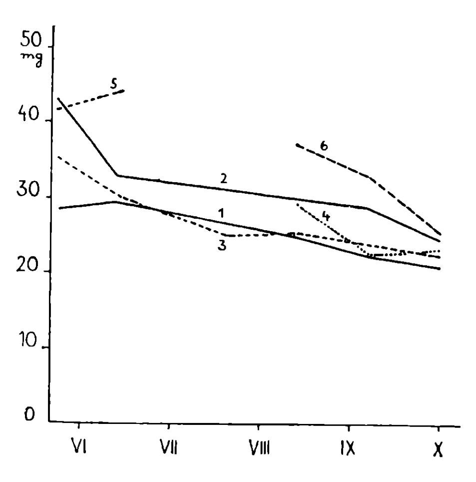


Abb. 4. Löslicher Stickstoff.
Gelbe Knorpelkirsche: *1* grüne Blätter; *3* gelbgrüne Blätter; *4* gelbweiße Blätter. Johanniskirsche: *2* grüngelbe Blätter; *5* gelbweiße Blätter; *6* gelbweiße Blätter.

werte für die erste Pflanze noch höher wären, wenn die erste Messung früher stattgefunden hätte.

Die gewonnenen Ergebnisse zeigen, daß die Erkrankung an der Kalziose von einer Anhäufung großer Mengen Eiweißzerfallprodukte in den Geweben begleitet wird. Im Vergleich zu normalen Pflanzen erreicht deren Menge das Zehnfache. Diese Derivate können die physiologischen Vorgänge beeinflussen, die Gewebe vergiften, ja das Absterben bewirken. Nach außen tut sich dieser Vorgang darin kund, daß die Erzeugung des Chlorophylls und der gelben Pigmente aufgehalten wird, als folgendes Vergiftungsstadium erscheint das Absterben der Blätter, deren Vertrocknen an den Rändern und schließlich der Tod des Baumes.

Die Pflanze kämpft jedoch gegen die abnorme Anhäufung giftiger Produkte, sie zerstört diese und entfernt sie aus ihren Geweben; geschieht dies nicht, so ist sie dem Untergang geweiht. Betrachten wir den Gang der Kurven der Abb. 4. Bei der fast gesunden Pflanze (Kurve 1) verändert sich die Menge der löslichen Produkte kaum während der ganzen Saison, die Kurve liegt sehr tief und bleibt fast auf gleicher Höhe. Bei der Pflanze im ersten Krankheitsstadium verläuft die Kurve etwas höher (2), nähert sich jedoch allmählich der ersten. Die Kurve der deutlich erkrankten Pflanze (3) liegt bedeutend höher, fällt dann zuerst allmählich und später steil ab, um schließlich nahe an die normale Kurve der gesunden Pflanze heranzukommen. Gleichzeitig tritt Genesung ein. Noch höher sehen wir die Kurve (4) derselben Pflanze für die im Sommer getriebenen, mit gelbweißen Blättern belaubten Zweige. Die Pflanze kämpft jedoch recht energisch gegen die Krankheit und vermindert die Menge der löslichen Stickstoffverbindungen, die Kurve (6) fällt steil ab und nähert sich der normalen. Anfangs hatten die Blätter sehr durch die Krankheit gelitten, sie waren fast weiß, die Ränder starben ab und vertrockneten; bei der letzten Prüfung fiel dagegen auf, daß dessenungeachtet im äußeren Bild wie auch im allgemeinen Zustand Besserung eingetreten war.

Besonders interessant sind die Kurven 5 und 6 für die Sorte „Johanniskirsche“. Die erste gilt für einen Baum, der aus irgend einem Grunde nicht genesen konnte und dessen Blätter abstarben und abfielen. Dieser Baum beschloß seine Vegetationstätigkeit mitten im Sommer. Die Menge der löslichen Derivate nahm langsam ab und die Kurve blieb auf beträchtlicher Höhe stehen. Sei es, daß dieser Baum keine Kraft besaß, gegen die Krankheit anzukämpfen, oder daß in seine Blätter immer neue Mengen Stickstoffverbindungen strömten. An einem anderen Baum derselben Sorte verlief die Befreiung von den Derivaten günstiger, die Kurve (6) zeigt

ein deutlich ausgesprochenes Sinken und nähert sich den normalen. Als Endergebnis sehen wir, daß die Pflanze lebt und ihre Blätter bewahrt.

III. Der unlösliche Stickstoff.

Der unlösliche Stickstoff wurde durch Subtraktion des löslichen vom Gesamtstickstoff berechnet, sein Gehalt stellt somit die Differenz dieser beiden Zahlenwerte dar. Die unlöslichen Stickstoffverbindungen bestehen zum größten Teil aus Eiweißen, zu denen auch das lebendige Protoplasma zu rechnen ist.

In völlig gesunden Pflanzen steigt der Gehalt an unlöslichem Stickstoff gleich dem Gesamtstickstoff allmählich bis Ende Juli, wie die Zahlenwerte der Tab. 7 und die Kurven der Abb. 5 veran-

Tabelle 7. Unlöslicher Stickstoff beim Apfelbaum in mg auf 1 g Trockengewicht.

Datum	11.V.	1.VI.	22.VI.	29.VII.	21.VIII.	14.IX.	5.X.
Gelber Edelapfel							
Grüne Blätter .	27,7	26,9	29,3	32,2	25,8	23,8	20,0
Gelbgrüne Blätter	28,7	20,9	24,9	24,0	19,8	20,7	18,8
Gelber Bellefleur							
Grüne Blätter .	21,8	22,2	23,5	22,3	20,1	18,0	16,9
Gelbgrüne Blätter	29,1	21,3	21,5	17,6	17,0	15,4	15,7
Kanada Reinette							
Grüne Blätter	26,3	27,0	26,5	22,4	19,8	18,7	18,8
Gelbe Blätter	26,0	18,8	22,6	17,5	14,3	15,4	15,0

schaulichen. Es ist dies ein Beweis dafür, daß der aus dem Boden zuströmende Stickstoff von der Pflanze zu komplizierten Verbindungen synthetisiert wird. Die Kurve des unlöslichen Stickstoffes steigt sogar etwas steiler ab als diejenige des Gesamtstickstoffes (s. Abb. 2). Weiterhin nehmen beide Stickstofformen gleichzeitig ab, ein Teil tritt scheinbar in die Früchte über, ein anderer in die Knospen und noch ein anderer im Herbst in die Reserveorgane.

Bei der Sorte „Kanada Reinette", deren grüne Blätter leicht von der Chlorose ergriffen sind, ist der anfängliche Anstieg sehr schwach ausgeprägt (Abb. 5, Kurve 2). Annähernd dasselbe Bild sehen wir auch bei der Sorte „Gelber Bellefleur".

In den kranken Pflanzen der drei Sorten nimmt die Menge des unlöslichen Stickstoffes schon während der ersten Vegetations-

periode stark ab, bei der ersten Sorte sank die Menge von 28,7 auf 20,9 mg, bei der zweiten von 29,1 auf 21,3 mg und bei der dritten von 26,3 auf 18,8 mg. Annähernd ebenso stark fiel auch der Gehalt an Gesamtstickstoff. In dieser Periode geht dessen Verbrauch am stärksten vor sich. Früchte werden in dieser Zeit noch nicht gebildet, um ein Speichern der Reservesubstanzen kann es sich auch nicht handeln, folglich verschwindet der Stickstoff aus der Pflanze. Späterhin wird der Zerfall aufgehalten und auch eine kleine Menge Stickstoff wird synthetisiert. Gegen den Herbst zu nimmt der unlösliche Stickstoff ganz wie in den grünen Pflanzen ab.

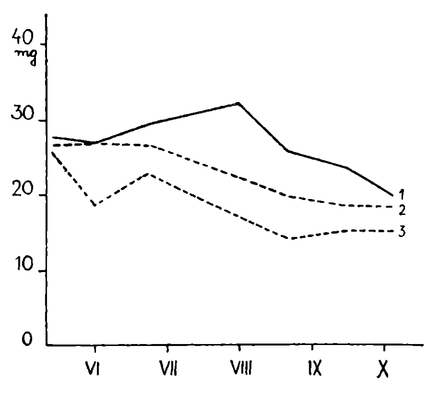


Abb. 5. Unlöslicher Stickstoff beim Apfelbaum: *1* grüne Blätter des Gelben Edelapfels; *2* grüne Blätter der Kanada Reinette; *3* gelbe Blätter der Kanada Reinette.

Die Beobachtungen am Apfelbaum in der Saison 1942 stimmen mit denen des Jahres 1943 völlig überein. Der unlösliche Stickstoff nahm in den grünen Blättern allmählich zu vom 28. VI. bis zum 19. VIII., um später etwas abzunehmen. Im Laufe von vier Monaten wurden folgende Ergebnisse verzeichnet: 26,8 — 28,3 — 28,3 — 26,2 mg. In den gelben Blättern war der Gehalt an unlöslichem Stickstoff gleich am Anfang geringer, da die Beobachtungen spät begonnen waren — zur Zeit, da das erste Stadium des energischen Zerfalles schon vorbei war und das zweite Stadium der allmählichen Abnahme begonnen hatte. Die gewonnenen Mengen waren: 18,2 — 17,9 — 14,8 — 14,8 mg.

Ein ähnliches Bild geben auch die Untersuchungen mit dem Kirschbaum. Besonders reich an unlöslichem Stickstoff sind die relativ gesunden Blätter (Tab. 8), deren Kurven (Abb. 6, Kurven 1 und 2) recht hoch verlaufen, ungefähr ebenso hoch wie die Kurve des Gesamtstickstoffes (Abb. 1). Dies bedeutet, daß das Verhältnis zwischen den Mengen löslichen und unlöslichen Stickstoffes das gleiche bleibt, ohne besonderen Schwankungen zu unterliegen. Alle übrigen Kurven, die den Gehalt an unlöslichen Stickstoffverbindungen in deutlich erkrankten Blättern veranschaulichen, unterscheiden sich sehr, der Form wie der Lage nach, von den Kurven des Gesamtstickstoffes.

Tabelle 8. Unlöslicher Stickstoff beim Kirschbaum.

Datum	21.V.	12.VI.	19.VII.	12.VIII.	6.IX.	30.IX.
Gelbe Knorpelkirsche						
Grüne Blätter	24,5	24,5	24,3	22,7	19,6	19,0
Gelbgrüne Blätter	26,2	19,7	15,3	23,1	—	19,3
Gelbweiße Blätter	—	—	—	16,2	15,9	19,3
Johanniskirsche						
Grüngelbe Blätter	41,5	29,3	25,7	—	25,3	24,0
Gelbweiße Blätter	20,1	24,8	—	—	—	—
Gelbweiße Blätter	—	—	—	11,5	18,2	19,1

Die Kurven der kranken Pflanzen liegen niedriger als die der gesunden. Abgesehen davon, daß die ersten reicher an Gesamtstickstoff sind, sind sie doch ärmer an unlöslichem und Eiweißstickstoff. Wenn wir die kranken, mitten im Sommer getriebenen Blätter betrachten („a"- und „b"-Kurven), können wir sagen, daß die Synthese des unlöslichen Stickstoffes mit der Abnahme des Gesamtstickstoffes zunimmt. Die Blätter der Johanniskirsche (Kurve 6) enthielten anfangs 39,1 mg Gesamtstickstoff und 11,5 mg unlöslichen; zum Schluß der Saison war der erste bis auf 25,7 gesunken, während der zweite bis auf 19,1 gestiegen war. Die Blätter der „Gelben Knorpelkirsche" (Kurve 4) führten zuerst 29,6 mg Gesamtstickstoff und 16,2 mg unlöslichen, und zum Schluß der Saison war der erste auf 22,5 zurückgegangen und dementsprechend war der letztere auf 20 mg gestiegen. Die beiden letzten Kurven belehren uns auch über das Schicksal des löslichen Stickstoffes. In dem kranken Blatt geht dieser stark zurück, ein Teil wird vollkommen aus der

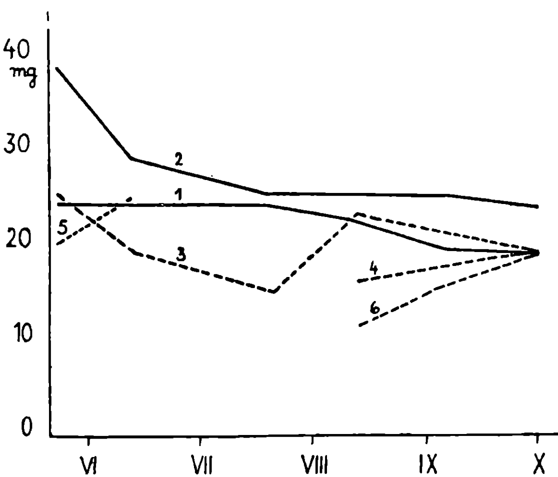


Abb. 6. Unlöslicher Stickstoff beim Kirschbaum. Gelbe Knorpelkirsche: *1* grüne Blätter; *3* gelbgrüne Blätter; *4* gelbweiße Blätter. Johanniskirsche: *2* grüngelbe Blätter; *5* gelbweiße Blätter; *6* gelbweiße Blätter.

Pflanze ausgeschieden und ein anderer wird synthesiert und geht in unlösliche Eiweißverbindungen über. Diese Synthese geht jedoch nur in jungen, im Sommer entsprossenen Blättern vor sich (Kurven 4 u. 6), in älteren ist sie kaum vorhanden; nur völlig gesunde Blätter können die komplizierten Stickstoffverbindungen synthesieren, und zwar hauptsächlich in der ersten Hälfte der Saison, das heißt solange sie jung sind, wie dies beim Apfelbaum und zum Teil auch bei der gesünderen Kirsche beobachtet wurde (Kurve 1).

IV. Die Aminosäuren.

Der Aminosäurenstickstoff wurde nach der Methode der Formoltitration bestimmt.

Die Aminosäuren stellen beim Apfelbaum eines der Hauptzerfallsprodukte vor und machen die Hälfte oder ein Drittel des löslichen Stickstoffes aus.

Während der Saison 1943 wurden in den grünen Blättern eines völlig gesunden Apfelbaumes etwa 1 mg Aminosäurenstickstoff (oder etwas mehr oder weniger) gefunden (Tab. 9), in nur schwach

Tabelle 9. N-Aminosäuren in mg auf 1 g Trockengewicht.

Datum	11.V.	1.VI.	22.VI.	29.VII.	21.VIII.	14.IX.	5.X.
Gelber Edelapfel							
Grüne Blätter .	0,95	1,05	1,32	0,74	0,42	0,59	0,42
Gelbgrüne Blätter	4,98	3,04	1,97	1,35	2,12	1,20	0,88
Gelber Bellefleur							
Grüne Blätter .	0,65	1,33	1,14	1,12	1,81	0,65	0,81
Gelbgrüne Blätter	6,87	4,50	2,60	2,33	2,48	1,42	1,17
Kanada Reinette							
Grüne Blätter	1,10	1,77	1,53	1,76	1,48	0,84	1,20
Gelbe Blätter	8,87	6,04	3,78	3,00	2,12	1,22	1,22

erkrankten bis 1,81 mg. In schwach erkrankten grünen Blättern war die Menge von 0,22 bis 0,52 mg. Die sichtlich chlorotischen Blätter sind sehr reich an Aminosäurenstickstoff zur Zeit des größten Zerfalls; am Apfelbaum wurde dies im Frühjahr beobachtet, zu welcher Zeit die Stickstoffmenge bis 5, ja auch fast bis 9 mg gestiegen war. Mit dem Abflauen der dissimilierenden Vorgänge nimmt der Gehalt an Aminosäuren ab, und gegen den Herbst zu vollzieht sich ein Ausgleich in den gelben und den grünen Blättern.

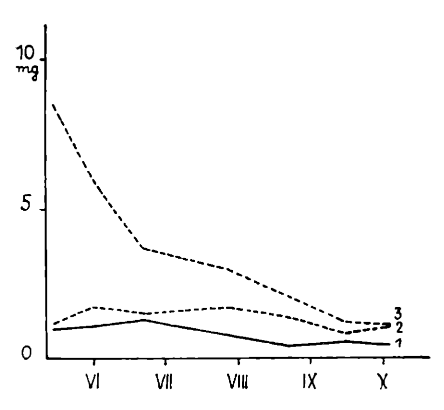


Abb. 7. Aminosäurenstickstoff auf 1 g Trockengewicht. *1* grüne Blätter des Gelben Edelapfels; *2* grüne Blätter der Kanada Reinette; *3* gelbe Blätter der Kanada Reinette.

Die oben beschriebenen Veränderungen im Gehalt des Stickstoffes der Aminosäuren sind in den Kurven der Abb. 7 veranschaulicht. Die erste Kurve ist nach den für die grünen Blätter der Sorte „Gelber Edelapfel" gewonnenen Werten gezeichnet, sie verläuft längs der Abszisse mit kleinen Schwankungen, die den Fehlern des Versuches als solchen entsprechen. Die grünen Blätter der Sorte „Kanada Reinette" (Kurve 2) enthalten etwas mehr Aminosäuren, doch werden auch hier keine wesentlichen Veränderungen beobachtet, die Kurve bleibt ungefähr auf derselben Höhe. Ein ganz anderes Bild ergibt sich für die heftig erkrankten Blätter der Sorte „Kanada Reinette" (Kurve 3). Hier liegt die Kurve anfangs viel höher als in normalen Pflanzen und stürzt dann steil ab; dieser Abstieg wird allmählich langsamer, bis sich im Herbst die Kurve dann den normalen nähert. Während die Krankheit zunimmt, verschwinden die Aminosäuren aus der Pflanze, ohne an der Eiweißsynthese teilzunehmen. Dafür spricht die Kurve des unlöslichen Stickstoffs (Abb. 5, Kurve 3); dieser nimmt nicht zu, sondern ab. Letzterer Umstand zeugt vom Zerfall der Eiweiße, die selber in Aminosäuren übergehen.

Die gleichen Ergebnisse erhalten wir beim Kirschbaum. Am wenigsten Aminosäuren enthalten (Tab. 10) die gesunden Blätter der Sorte „Gelbe Knorpelkirsche" — von 0,51 bis 0,95 mg; die

Tabelle 10. Aminosäurenstickstoff beim Kirschbaum.

Datum	21.V.	12.VI.	19.VII.	12.VIII.	6.IX.	30.IX.
Gelbe Knorpelkirsche						
Grüne Blätter . .	0,87	0,77	0,95	0,69	0,51	0,64
Gelbgrüne Blätter	3,45	3,20	3,86	0,61	—	0,61
Gelbweiße Blätter	—	—	—	3,98	1,83	0,91
Johanniskirsche						
Grüngelbe Blätter	1,20	1,35	1,46	—	1,00	0,91
Gelbweiße Blätter	8,18	6,80	—	—	—	—
Gelbweiße Blätter	—	—	—	12,00	4,85	2,37

kranken Blätter enthielten bei den ersten Messungen viel mehr — 3,45 und 3,48 mg.

Bei der Sorte „Johanniskirsche“ wurde in den gesunden Blättern 0,99 bis 1,46 mg und in kranken 8,16, ja 12,0 mg gefunden.

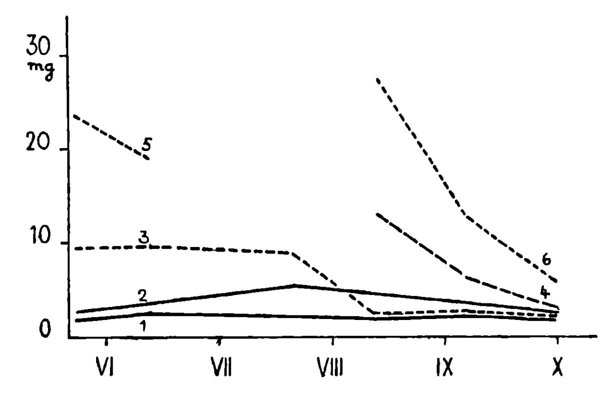


Abb. 8. Aminosäuren beim Kirschbaum. Gelbe Knorpelkirsche: *1* grüne Blätter; *3* gelbgrüne Blätter; *4* gelbweiße Blätter. Johanniskirsche: *2* grüngelbe Blätter; *5* gelbweiße Blätter; *6* gelbweiße Blätter.

Beim Zeichnen der Kurven der Aminosäuren (Abb. 8) wurde der Maßstab im Vergleich zu den den löslichen Stickstoff darstellenden Kurven ums Dreifache überhöht. Die beiden Kurven verlaufen sehr nahe beieinander, sie scheinen einander zu wiederholen. Darum sind auch die Ergebnisse die gleichen. Bei den gesunden wie auch bei den schwacherkrankten Pflanzen unterliegt die Menge der Aminosäuren während der Saison keinerlei merklichen Veränderungen. Eine heftigere Erkrankung bewirkt anfangs eine Anhäufung der Aminosäuren, diese zerfallen jedoch zum größten Teil, während ein geringer Bruchteil in Eiweiße synthesiert wird — ein Vorgang, der in erster Linie in den jungen Blättern stattfindet (Abb. 7, Kurven 4 und 6), in denen die synthesierenden Fähigkeiten dank der angeborenen Eigentümlichkeiten des Gewebes als solchen besonders stark entwickelt sind.

V. Der Stickstoff der Amide und des Ammoniaks.

Bei den von mir angewandten Bestimmungsmethoden wurde mit dem Amidstickstoff auch der Ammoniakstickstoff erfaßt. Die Bestimmung wurde nach der Sachseschen Methode durchgeführt. Zunächst wurden aus dem Preßsaft die Eiweißstoffe ausgefällt und das Filtrat zwei Stunden mit Rückflußkühler gekocht. Die Lösung wurde schwach alkalisiert und das Ammoniak bei 40° abdestilliert. Bei dieser Methode werden der Amid- und der Ammoniakstickstoff gleichzeitig erfaßt, letzterer ist jedoch, wie dies viele Bestimmungen gezeigt haben, nur in geringer Menge in der Pflanze vorhanden.

Beim Apfelbaum haben die Analysen der Jahre 1942 und 1943 gezeigt, daß normale grüne Blätter kaum Amide enthalten, auf 1 g Trockengewicht fallen hiervon 0,1 mg, ja noch weniger. Nur im Frühjahr kann es mehr Amide geben; diese spielen jedoch in einem gesunden Apfelbaum überhaupt keine wesentliche Rolle. Die Erkrankung an der Kalziose bewirkt eine beträchtliche Vermehrung ihrer Menge hauptsächlich im Anfang des Sommers, zu welcher Zeit sich ein intensiver Zerfallvorgang der Stickstoffverbindungen und ein Stickstoffschwund beobachten läßt. Fernerhin nehmen die Amide sowie auch die anderen Zerfallprodukte in der Pflanze ab.

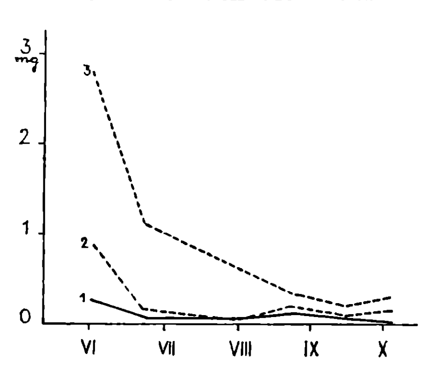


Abb. 9. Amidstickstoff auf 1 g Trockengewicht. *1* grüne Blätter des Gelben Edelapfels; *2* grüne Blätter der Kanada Reinette; *3* gelbe Blätter der Kanada Reinette.

Die Kurven der Abb. 9 veranschaulichen die Veränderungen im Gehalt der Amide. Die Kurve der völlig gesunden Blätter (1) verschmilzt beinahe mit der Abszissenlinie, nur im Frühjahr steht sie etwas höher. Jedoch auch bei schwacher Erkrankung steigt die Kurve, wie wir das an den grünen, leicht von der Chlorose ergriffenen Blättern der Kanada Reinette (2) sehen. Die Kurve der gelben Blätter dieser Sorte (3) verläuft wie die Kurven des löslichen Stickstoffes und der Aminosäuren, d. h. sie steht im Frühjahr hoch und fällt dann steil ab.

Noch größere Unterschiede zwischen gesunden und kranken Pflanzen finden wir beim Kirschbaum. Bei der ersten Bestimmung am 21. V. (Tab. 11) enthielten die gesünderen Blätter 0,20 mg Amid-

Tabelle 11. Amidstickstoff.

Datum	21.V.	12.VI.	19.VII.	12.VIII.	6.IX.	30.IX.
Gelbe Knorpelkirsche						
Grüne Blätter .	0,20	0,12	0,24	0,20	0,12	0,13
Gelbgrüne Blätter	1,58	1,65	1,77	0,27	—	0,15
Gelbweiße Blätter	—	—	—	2,29	0,57	0,19
Johanniskirsche						
Grüngelbe Blätter	0,26	0,27	0,24	—	0,20	0,30
Gelbweiße Blätter	6,22	3,09	2,92	—	—	—
Gelbweiße Blätter	—	—	—	6,97	2,40	0,79

stickstoff, die schwach erkrankten 0,26 mg, die stärker erkrankten 1,56 mg und schließlich die ausgesprochen kranken 6,22 mg. Bei der Bestimmung am 12. VIII. enthielten die gesünderen 0,20 mg und die kranken 6,97 mg; also ungefähr soviel wie zu Beginn der Saison.

Die Kurven (Abb. 10) verlaufen hier fast wie bei den Aminosäuren und beim löslichen Stickstoff. Besonders nah stimmen die Kurven 1, 2 und 3 für Veränderungen in den gesunden und den schwach erkrankten Blättern überein. Bei den heftig erkrankten Blättern (Kurven 4 und besonders 5 und 6) fallen die Kurven steil ab und unterscheiden sich dadurch von den Kurven des löslichen Stickstoffes. Daraus kann man schließen, daß die Amide zuerst zersetzt werden und daß die Stickstoffabnahme auf deren Konto zurückzuführen ist.

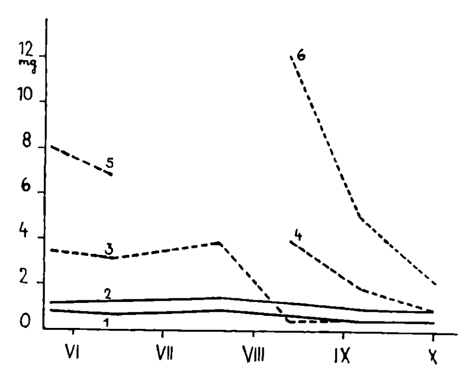


Abb. 10. Amidstickstoff beim Kirschbaum. Gelbe Knorpelkirsche: *1* grüne Blätter; *3* gelbgrüne Blätter; *4* gelbweiße Blätter. Johanniskirsche: *2* grüngelbe Blätter; *5* gelbweiße Blätter; *6* gelbweiße Blätter.

VI. Der Stickstoff der löslichen Eiweißstoffe und der Basen.

Eine gewisse geringe Menge Stickstoff im Zellsaft kommt dem löslichen Eiweißstoff und den Basen zu, die ich mit Hilfe der Phosphor-Wolfram-Säure fällte und dann nach der Kjeldahlschen Methode versengte.

Beim Apfelbaum enthalten grüne Blätter etwa 0,2 mg Stick-

Tabelle 12. Stickstoff der löslichen Eiweißstoffe und der Basen beim Apfelbaum.

Datum	11.V.	1.VI.	29.VII.	21.VIII.	14.IX.	5.X.
Gelber Edelapfel						
Grüne Blätter .	0,19	0,13	0,21	0,19	0,23	0,20
Gelbgrüne Blätter	0,92	0,40	0,27	0,28	0,26	0,41
Kanada Reinette						
Grüne Blätter	0,19	0,22	0,15	0,25	0,19	0,19
Gelbe Blätter	0,67	0,35	0,35	0,51	0,65	0,57

stoff dieser Verbindungen auf 1 g Trockengewicht (Tab. 12). Kranke Pflanzen führen davon mehr — 0,5 und bis 0,9 mg.

Beim Kirschbaum wurde in den vollkommen gesunden Pflanzen in Franzensbad 0,15 mg Eiweiß- und Basenstickstoff gefunden, was ungefähr der Menge des Amid- und Ammoniakstickstoffs entspricht. Die in Gumpoldskirchen auf stark kalkhaltigem Boden aufgewachsenen Kirschbäume waren reicher an diesen Verbindungen (Tab. 13).

Tabelle 13. Stickstoff von Eiweiß und Basen beim Kirschbaum.

Datum	21.V.	12.VI.	19.VII.	12.VIII.	6.IX.	30.IX.
Gelbe Knorpelkirsche						
Grüne Blätter . .	0,50	0,50	0,39	0,53	0,29	0,26
Gelbgrüne Blätter	0,64	0,93	1,00	0,39	—	0,22
Gelbweiße Blätter	—	—	—	1,57	0,59	—
Johanniskirsche						
Grüngelbe Blätter .	0,46	0,64	0,45	—	0,59	0,32
Gelbweiße Blätter	1,85	1,60	1,04	—	—	—
Gelbweiße Blätter	—	—	—	1,47	0,86	0,77

Die schwach erkrankten Pflanzen enthielten 0,50 mg, und nur gegen den Herbst hin nahm dieser Wert fast um die Hälfte ab. Die Erkrankung an der Kalziose bewirkte eine Erhöhung des Gehaltes an Eiweißen und Basen im Saft, jedoch nicht in dem Ausmaß wie bei den Amiden und Aminosäuren. Die Menge der Eiweiße und Basen vermehrte sich ums Zwei- oder Dreifache. Die Erklärung dafür kann darin erblickt werden, daß die Eiweiße als solche nicht lange im Safte bleiben, sondern durch die Einwirkung der Fermente weiter zersetzt werden.

VII. Allgemeine Schlußfolgerungen über die Veränderungen der Stickstoffverbindungen und deren Rolle bei der Kalziose.

In den normalen Pflanzen vollzieht sich in der ersten Hälfte der Saison ein Zuströmen des Stickstoffes, der darauf in komplizierte Verbindungen übergeht, die gewöhnlich im Zellsaft unlöslich sind. In der zweiten Hälfte des Sommers strömt der Stickstoff aus den Blättern weg. Der lösliche Stickstoff beträgt jetzt nur einen kleinen Teil des Gesamtstickstoffs. In an der Kalziose erkrankten Pflanzen wird dagegen der synthesierende Prozeß aufgehalten und an erste Stelle tritt der Zerfallsvorgang. Obgleich die kranken Pflanzen fast um 40% reicher an Gesamtstickstoff sein können,

enthalten sie doch nur halb soviel oder viel weniger unlöslichen Stickstoff.

Die löslichen Stickstoffverbindungen können sich für die Pflanze als giftig erweisen und in dieser eine Erkrankung hervorrufen, als deren Anzeichen eine ungenügende Erzeugung des Chlorophylls anzusehen ist. Diese Erkrankung wird Chlorose genannt. Von der Vergiftung zeugt das Äußere der Blätter. Abgesehen vom Chlorophyllmangel beginnen einzelne Blatteile abzusterben. Zuerst werden Spitzen und Ränder ergriffen, wohin der Verdunstungsstrom wohl die giftigen Substanzen vorschiebt und wo diese sich stauen. Das ganze Äußere der Blätter bekundet die Vergiftung. Sie unterscheiden sich von den Blättern, die aus Mangel an Eisen oder anderen Elementen vergilben.

Die vergiftenden Substanzen können im Blatt selber erzeugt werden oder von außen zuströmen. Dem einen Schema zufolge darf man vermuten, daß im kranken Gewebe einerseits der Assimilierungsprozeß stark aufgehalten ist, wofür der Gehalt an unlöslichem Stickstoff spricht; und daß anderseits der Zerfallsvorgang sehr intensiv ist, demzufolge die Eiweißstoffe abnehmen und lösliche Stickstoffverbindungen angereichert werden. Einem zweiten Schema zufolge kann man hingegen annehmen, daß die löslichen Stickstoffprodukte in das sich entwickelnde Blatt entweder aus den anderen Pflanzenteilen oder unmittelbar aus dem Boden zuströmen.

Die Kalziose wird auf Kalkböden beobachtet, die mehr oder weniger reich an Stickstoffverbindungen sind. So könnten diese letzteren in großem Überschuß in die Pflanzen eindringen und die Erkrankung mitverursachen.

Aus dem Boden können, abgesehen vom Stickstoff, auch noch andere Stoffe reichlich zuströmen, wie z. B. Salze, die den Zerfall stimulieren können im kranken Blatt selbst oder auch in anderen Organen, z. B. in grünen Blättern. Diese erzeugen unter dem Einfluß der zugeströmten Stoffe lösliche Stickstoffsubstanzen, treiben sie in die wachsenden Gewebe und vergiften diese hierdurch. Wir sahen die grünen Blätter in erhöhtem Maße Zitronensäure erzeugen, während die Pflanze gleichzeitig nur gelbe Blätter neu treiben konnte. Nach der Menge der Zitronensäure in den grünen Blättern konnte man darauf schließen, ob die sich neu entwickelnden Blätter grün oder gelb sein werden.

Die überschüssigen Stickstoffprodukte werden intensiv vom kranken Gewebe zersetzt und die Kurven fallen steil ab, was auf die heftigen Dissimilationsvorgänge im Blatt hinweist. Diese Vorgänge führen zur Entfernung des überschüssigen Stickstoffes aus

dem Gewebe, wonach die Dissimilierung allmählich aufhört, das Gleichgewicht hergestellt wird und die Lebensvorgänge sich wie in normalen Blättern abspielen.

Die gewonnenen Ergebnisse lassen unzweideutig die starke Speicherung von Stickstoffverbindungen im erkrankten Gewebe und deren intensive Zersetzung erkennen.

3. Kapitel.

Die organischen Säuren.

I. Die Zitronensäure.

Während der Erkrankung an Kalziose vollzieht sich in den Pflanzen ein eigenartiger Stoffwechsel der organischen Säuren. Viele Pflanzen erzeugen in diesem Zustand eine große Menge Zitronensäure, die im gesunden Apfelbaum kaum vorhanden ist.

Der Apfelbaum war die erste Pflanze, an der ich meine Untersuchungen der Kalziose begann. Ein heftig ergriffener Baum mit gelben, absterbenden Blättern enthielt am 16. VI. 28,7 mg Zitronensäure auf 1 g Trockengewicht. Ein anderes in der Nähe wachsendes Exemplar mit gesunden Blättern führte nur 1,9 mg Zitronensäure. Nach 6 Wochen, am 28. VII., begannen einige Blätter an letztem Baum auch zu vergilben, während ein anderer Teil grün blieb, obgleich in diesem der Krankheitsprozeß schon begonnen hatte, ohne jedoch sich im Schwund der grünen Färbung zu äußern. Die ganz grünen Blätter, die anfangs 1,9 mg Zitronensäure enthielten, führten jetzt 8,5 mg; im Vergilben begriffene Blätter — 15,0 mg und ganz gelbe — 21,5 mg.

Am 27. August desselben Jahres waren an einem Spalierapfelbaum die älteren Blätter grün, während die im Laufe des Sommers entfalteten jüngeren gelb waren; in ersteren fand ich 9,9 mg Zitronensäure, in letzteren 27,5 mg. Als derselbe Baum im darauffolgenden Jahre geprüft wurde und am 24. VI. alle Blätter an ihm grün waren, hatten die älteren 1,0 mg Zitronensäure, während die jüngeren 0,3 mg führten. Hier stoßen wir auf einen bedeutenden Unterschied zwischen den zu beiden verschiedenen Fristen am selben Baum gewonnenen Zahlengrößen. Im vorangegangenen Jahre entwickelte sich in der Pflanze die Krankheit, diese trat jedoch nur in den sich neu entfaltenden Blättern zutage, während die älteren Blätter erst nach vollendeter Entwicklung erkrankten und die grüne Färbung behalten konnten. Am anderen Spalierapfelbaum daneben waren zur gleichen Zeit die erwachsenen Blätter

grün, während die jungen gelbe Flecke besaßen; die Krankheit war jedoch nicht so weit vorgeschritten wie im vorangegangenen Jahre, weshalb die grüne Färbung dominierte. Im Zusammenhang mit der Erkrankung war der Gehalt an Zitronensäure etwas erhöht sowohl in grünen, wie auch in vergilbenden Blättern; erstere enthielten 3,5 mg, letztere 6,2 mg. In den oben erwähnten Analysen fällt der große Gehalt an Zitronensäure in den jungen Blättern auf, was nie bei normalen Pflanzen vorkommt, wie meine vielseitigen Untersuchungen verschiedener Arten gezeigt haben. Die jungen Blätter sind immer ärmer an organischen Säuren und zumal an Zitronensäure.

Der Spalierbaum, der im Juni 1942 vollständig gesund war und in jungen Blättern nur 0,3 mg Zitronensäure enthielt, wurde nach einem Monat zum zweitenmal geprüft. Die jungen Blätter zeigten schon Spuren der Kalziose, die Menge der Zitronensäure war in diesen auf 7,3 mg gestiegen und nach einem weiteren Monat auf 9,0 mg. Da die Krankheit jedoch nicht sehr progressierte und die Blätter noch viel Chlorophyll enthielten, erreichte die Produktion der Zitronensäure nicht die Höhe wie im vorangegangenen Jahr, wo deren Gehalt 27,5 mg betrug.

Wie schon erwähnt, wurden im Jahre 1943 systematische Beobachtungen an drei Apfelbaumsorten durchgeführt, von jeder Sorte wurde ein mehr oder weniger gesunder und ein sichtlich erkrankter Baum untersucht. Die Ergebnisse der Analysen der Zitronensäure sind auf Tab. 14 veranschaulicht.

Tabelle 14. Zitronensäure auf 1 g Trockengewicht in mg.

Datum	11.V.	1.VI.	22.VI.	29.VII.	21.VIII.	14.IX.	5.X.
Gelber Edelapfel							
Grüne Blätter .	1,7	1,3	1,3	0,8	1,0	1,3	3,5
Gelbgrüne Blätter	30,8	13,7	9,0	8,1	7,7	5,8	9,2
Gelber Bellefleur							
Grüne Blätter . .	3,0	1,9	2,3	2,7	3,7	3,3	4,3
Gelbgrüne Blätter	23,4	8,7	7,6	9,3	13,4	10,4	8,5
Kanada Reinette							
Grüne Blätter	5,2	5,2	5,3	5,3	8,6	6,6	6,1
Gelbe Blätter	56,5	20,8	21,7	31,3	44,0	20,0	22,7

Von den drei gesunden Bäumen hatte die Sorte „Gelber Edelapfel" vollkommen grüne Blätter und dementsprechend enthielten diese am wenigsten Zitronensäure, zuerst 1,7 mg, dann nahm die

Menge gegen die Mitte des Sommers allmählich bis 0,8 mg ab, um späterhin wieder anzusteigen; im Herbst erreichte die Menge 3,5 mg. Die Sorte „Gelber Bellefleur“ hatte teils grüne, teils vergilbte Blätter, diese enthielten etwas mehr Zitronensäure als die der ersten Pflanze; bei der ersten Messung — 3,0 mg, dann sank die Menge auf 1,9 mg hinab und stieg im Herbst bis 4,3 mg. Bei der Sorte „Kanada Reinette“ trugen fast alle Blätter gelbliche Flecke, die Krankheit war hier jedoch sehr leicht, die gut entwickelten Blätter enthielten mehr Zitronensäure als die beiden anderen Sorten, und zwar von 5,2 bis 8,6 mg.

Viel intensiver reagierten deutlich erkrankte Bäume, und zwar besonders stark am Anfang, zu welcher Zeit die physiologischen Vorgänge großen Veränderungen unterliegen, wie wir schon gesehen haben. Am 11. V. führte die erste Sorte 30,8 mg Zitronensäure, die zweite Sorte — 23,4 mg, die dritte — 56,5 mg. Nach 3 Wochen war der Säuregehalt bei allen drei Sorten stark gesunken, bei der ersten blieben 13,7 mg, eine Verringerung um 55%, die zweite Sorte behielt 8,7 mg, um 63%, die dritte behielt 20,8 mg, eine Verringerung auch um 63%.

Eine große Anreicherung der Zitronensäure während der akuten Krankheitsphase und eine starke Abnahme in der folgenden Periode bilden eine charakteristische Begleiterscheinung bei der Kalzioseerkrankung auch bei anderen Pflanzen. Die Zitronensäure wird allmählich transformiert.

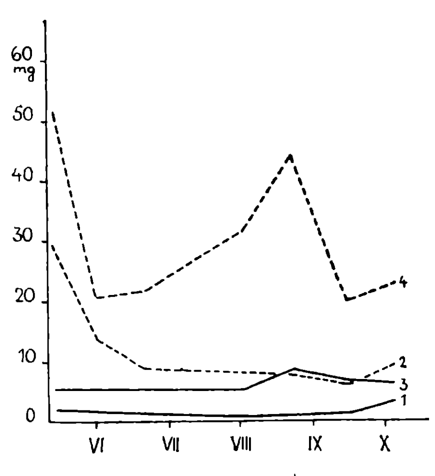


Abb. 11. Zitronensäure auf 1 g Trockengewicht. Gelber Edelapfel: *1* grüne Blätter; *2* grüngelbe Blätter. Kanada Reinette: *3* grüne Blätter; *4* gelbe Blätter.

Die Veränderungen im Gehalt der Zitronensäure in grünen und gelben Blättern der Sorten „Gelber Edelapfel“ und „Kanada Reinette“ sind in den Kurven der Abb. 11 veranschaulicht. Die Kurve der grünen Blätter (1) der ersten Sorte fällt fast mit der Abszissenlinie überein; bei der zweiten Sorte (2) verläuft sie etwas höher. Besonders hoch steht jedoch die Kurve der gelben Blätter der Sorte „Kanada Reinette“ (eine gestrichelte Linie 4). Für die chlorotischen Pflanzen ist ein hoher Stand der Kurve zu Beginn

der Saison sowie ein starkes Sinken am Ende des Sommers sehr bezeichnend. Für die erste Sorte ist dieses Sinken nicht sehr bedeutend und läßt späterhin noch mehr ab. Bei der zweiten Sorte steigt die Kurve Ende August noch einmal an; genau zu dieser Zeit hatte die Krankheit an Heftigkeit zugenommen, die Blätter begannen an den Rändern abzusterben; wie wir oben schon gesehen haben, vermehrt sich in diesen der lösliche Stickstoff, dessen Vorkommen in den Pflanzen während der Kalziose sehr charakteristisch ist. Es ist interessant, daß am selben Datum, 21. VIII., auch bei grünen Blättern derselben Sorte die Menge der Zitronensäure und des löslichen Stickstoffes einen Anstieg aufwies, dieser war jedoch nur gering.

Am 21. VIII. wurde noch eine Probe der Sorte „Weißer Winterkalvill" untersucht, dieser unterlag schon der Kalziose: die Blätter starben ab, vertrockneten und fielen ab. Ein Teil der Zweige war entlaubt. Der Gehalt an Zitronensäure war recht hoch, nämlich 27,2 mg auf 1 g Trockengewicht berechnet. Vermutlich nahte sich der Prozeß seinem Abschluß; wäre die Analyse an diesem Apfelbaum früher durchgeführt worden, solange die Krankheit im Steigen war, so wären die Zahlenergebnisse höher.

Im Sommer 1943 wurden außer den oben genannten Apfelbäumen noch gesunde Bäume in Franzensbad am 10. VII. und am 23. IX. in Baden untersucht. Die erste Messung ergab 1,7 und die zweite 0,9 mg Zitronensäure.

Die während der drei aufeinanderfolgenden Sommer durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, daß der Gehalt an Zitronensäure in gesunden Pflanzen ungefähr 1 mg ausmacht, mit geringen Schwankungen. Aber schon bei geringer Erkrankung beginnt das Gewebe Zitronensäure zu produzieren, und zwar um so intensiver, je heftiger die Krankheit auftritt. Bei einer Erkrankung bereits erwachsener grüner Blätter braucht der Schwund der Farbe nicht stattzufinden, und nur eine biochemische Analyse bestimmt in diesem Fall die Krankheit.

* * *

Für die Kirsche bildet die Zitronensäure, wie für den Apfelbaum und eine Reihe anderer Pflanzen, während der Erkrankung an der Kalziose einen charakteristischen Bestandteil des Zellsaftes. Der Kirschbaum ist ja im allgemeinen reich an Zitronensäure, ein vollkommen gesunder Baum in Franzensbad enthielt davon am 12. VII. 6,8 mg auf 1 g Trockengewicht. Dieser Hang zur Erzeugung der Zitronensäure führt während der Erkrankung dieser Pflanze zu noch größerer Anreicherung dieser Säure.

Bei Pflanzen, die auf Kalkböden wachsen, ist die Zitronensäure sehr verbreitet. Wie meine Forschungen gezeigt haben (1940 und 1944), erzeugt eine Pflanze um so mehr Zitronensäure, je reicher der Boden an Kalk ist und je mehr Kalzium in den Blättern gespeichert wird. Deshalb führt ein und dieselbe Art auf Silikatböden weniger Zitronensäure als auf Kalkböden. Die Blätter speichern in ihren Geweben gleichzeitig auch Zitronensäure, wenn sie gegen den Herbst zu größere Mengen Kalzium aufnehmen.

Wenn schon in Franzensbad auf saurem Boden, der arm an Kalzium ist, ungefähr 6 mg Zitronensäure gefunden wurden, so führten in Gumpoldskirchen auf Kalkböden sogar verhältnismäßig gesunde Pflanzen davon 3- oder 4mal mehr. Außerdem wurde ein ganz ausgesprochener Hang zur Anreicherung vom Frühling gegen den Herbst zu festgestellt. Die Analysenergebnisse sind in Tab. 15 angeführt und in den Kurven der Abb. 12 veranschaulicht.

Tabelle 15. Zitronensäure beim Kirschbaum.

Datum	21.V.	12.VI.	19.VII.	12.VIII.	6.IX.	30.IX.
Gelbe Knorpelkirsche						
Grüne Blätter .	18,2	14,2	22,8	22,7	28,2	26,6
Gelbgrüne Blätter	45,1	41,3	42,3	18,0	—	21,3
Gelbweiße Blätter	—	—	—	56,0	53,4	52,2
Johanniskirsche						
Grüngelbe Blätter	13,7	19,0	18,7	—	22,3	32,3
Gelbweiße Blätter	58,0	36,6	39,8	—	—	—
Gelbweiße Blätter	—	—	—	45,0	46,6	39,9

Zu den gesünderen Bäumen gehörten eine „Gelbe Knorpelkirsche“ mit grünen Blättern (Kurve 1) und jene „Johanniskirsche“ mit grüngelben Blättern (Kurve 2). Anfangs enthielten diese Pflanzen 14 bis 18 mg, gegen den Herbst zu stieg diese Menge bis 27—32 mg. Es vollziehen sich jedoch ununterbrochen Schwankungen in verhältnismäßig engen Grenzen, wie die Kurven zeigen, obwohl die allgemeine Tendenz zum Steigen dauernd erhalten bleibt. Die Kurven kreuzen einander. Diese Schwankungen können methodisch begründet sein oder sie können von rein physiologischen Erscheinungen abhängen, wovon weiterhin die Rede sein wird. Die Linie „M“ auf Abb. 12 gibt einen Durchschnittswert.

Die Erkrankung an der Kalziose vermehrt den Gehalt an Zitronensäure um ein Beträchtliches. Der gesündere Baum der Sorte „Johanniskirsche“ enthielt in den grüngelben Blättern (Kurve 2) am 19. VII. 18,7 mg Zitronensäure und in den gelben

26,7 mg. An einem zweiten Baum derselben Sorte wurde in den gesünderen Blättern am 12. VIII. und am 6. IX. 14,5 und 18,1 mg gefunden, während die typisch kranken gelblichweißen Blätter 46,0 und 46,4 mg enthielten. (Kurve 6). Und der dritte am heftigsten erkrankte Baum hatte bei der ersten Messung 58 mg und den beiden folgenden etwa 39 mg (Kurve 5).

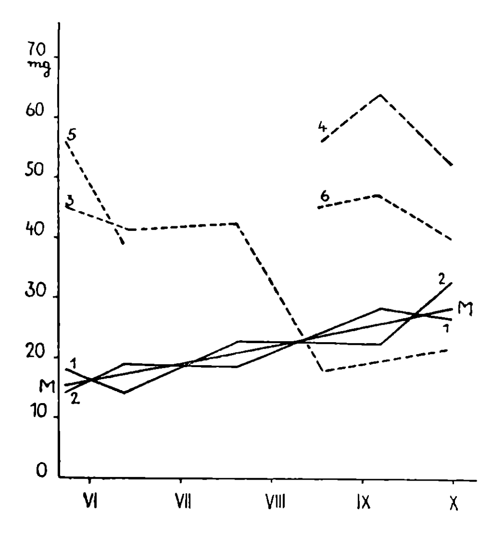


Abb. 12. Zitronensäure beim Kirschbaum.

In den Blättern des gesünderen Baumes der „Gelben Knorpelkirsche“ stieg der Gehalt an Zitronensäure im Laufe des Sommers von 14,2 auf 36,6 mg (Kurve 1). Am zweiten Baum waren die Blätter ausgesprochen chlorotisch und enthielten bei den ersten Messungen von 41 bis 45 mg Säure (Kurve 3); bei den folgenden drei Messungen wurden gesündere Blätter verwendet, die von 18 bis 21 mg enthielten. Hier sinkt die Kurve steil hinab. In der zweiten Hälfte des Sommers wurden die neu gewachsenen gelblichweißen Blätter geprüft (Kurve 4), diese waren besonders reich an Zitronensäure, sie enthielten 56 und daraufhin 52 mg, also zehnmal mehr als die grünen in Franzensbad gesammelten Blätter.

Die angeführten Zahlenwerte stellen unbestritten die Tatsache fest, daß die Erkrankung an der Kalziose eine verstärkte Erzeugung der Zitronensäure bewirkt; zu gleicher Zeit vollziehen sich Veränderungen im Bestande der Stickstoffverbindungen. Diese beiden Vorgänge scheinen eng miteinander verbunden zu sein. Dasselbe konnten wir am Apfelbaum und an einigen anderen Pflanzen beobachten. Das weitere Schicksal der Zitronensäure hängt von verschiedenen Faktoren ab. Die Genesung der Pflanze bewirkt einen starken Rückgang der Säure. Bleibt die Pflanze krank, so kann ihre Menge nicht abnehmen, sondern sie nimmt noch zu. Schließlich neigen die Kalkpflanzen, wie schon erwähnt, zu einer Vermehrung des Säuregehalts vom Frühjahr bis zum Herbst. Die Mannigfaltigkeit der Faktoren bewirkt eine sehr komplizierte Veränderung im Verlaufe der Kurven.

Einerseits strebt der Organismus danach, den überschüssigen Gehalt an Zitronensäure in seinen Geweben zu verringern, andererseits vergrößert er deren Menge unter dem Einfluß äußerer Faktoren. Diese einander widersprechenden Einflüsse bewirken einen komplizierten Verlauf der Kurven. Schon am Beispiel des Apfelbaums sahen wir, wie verschieden die einzelnen Bäume reagieren; bei einem in Genesung befindlichen Baum fällt die Kurve steil ab; bei einem anderen steigt die Kurve, wenn die Krankheit fortschreitet; bei noch anderen kann die Kurve auf derselben Höhe verharren, wenn die Krankheit nicht nachläßt.

Die Kurven der Kirsche wiesen alle Nuancen der mannigfachen Veränderungen auf. Das Zunehmen der Krankheit führt zu einer Erhöhung des Gehaltes der Zitronensäure (Kurve 4 und zum Teil 6). Die Tendenz, die Säure zu vermindern, ist deutlich in allen kranken Pflanzen zu erkennen (Kurven 3, 4, 5 und 6). Sogar die ununterbrochenen Schwankungen im Gehalte der Zitronensäure in gesünderen Bäumen (Kurven 1 und 2) können nicht nur von methodischen Faktoren bedingt sein, worauf oben hingewiesen wurde, sondern diese Schwankungen sind einerseits auf die durch die Genesung hervorgerufene Tendenz zur Abnahme zurückzuführen, oder aber andererseits zur Erhöhung, die durch die Speicherung der Salze während der Saison bedingt ist. In dieser Beziehung ist die Kurve 3 interessant, die anfangs hoch liegt und kaum zum Sinken neigt; in der zweiten Hälfte des Sommers jedoch, zu welcher Zeit gesündere Blätter zur Prüfung gewählt wurden, ging die Kurve merklich zurück, um dann wieder zu steigen bis zur Höhe wie in normalen Blättern. Das Sinken kann darin seine Ursache haben, daß andere Blätter verwendet wurden, der Anstieg hing jedoch mit der Speicherung der zweiwertigen Kationen zusammen.

Obgleich die oben erwähnten Faktoren äußerer und innerer Art den Gang der Kurven verwickeln, liegen dennoch die Kurven der ausgesprochen kranken Bäume viel höher als die der gesünderen. Der Einfluß der Krankheit auf die Erzeugung der Zitronensäure unterliegt keinem Zweifel.

II. Die Apfelsäure.

Es ließ sich oft ein Abnehmen der Apfelsäure während der Kalziose beobachten, besonders wenn diese heftig aufgetreten war. Die Apfelsäure steht unter dem Einfluß verschiedenartiger und widerspruchsvoller Faktoren. Der Überschuß an Kalk im Boden und die Ansammlung von Kalzium im Saft bewirken eine verstärkte Erzeugung der Apfelsäure in der Zelle. Als zweiter, eng mit dem

ersten verbundener Faktor, erscheint das Alter der Blätter; die meisten Kalkpflanzen erzeugen die Säure hauptsächlich in der zweiten Hälfte des Sommers, gewöhnlich im August. Der dritte Faktor ist ein innerer, dieser wirkt in entgegengesetzter Richtung: eine heftige Erkrankung an der Kalziose unterbindet die Erzeugung der Apfelsäure, und zwar desto stärker, je schärfer die Krankheit ausgeprägt ist.

Beim Apfelbaum hängt die Erzeugung der Apfelsäure mehr vom Ca-Gehalt und im allgemeinen von den zweiwertigen Metallen als von der Wirkung der Kalziose ab. Die Kurven der Apfelsäure und des löslichen Ca sind einander ähnlich, ohne jedoch völlig übereinzustimmen, es läßt sich nur von einem gewissen Zusammenhang reden.

Tab. 16 bringt den Gehalt an Apfelsäure und an löslichem Kalzium.

Tabelle 16. Apfelsäure auf 1 g Trockengewicht in mg.

Datum	11.V.	1.VI.	22.VI.	29.VII.	21.VIII.	14.IX.	5.X.
Gelber Edelapfel							
Grüne Blätter .	25,7	18,5	19,1	18,6	17,0	14,8	18,2
Gelbgrüne Blätter	45,0	48,0	55,0	60,0	46,0	49,5	43,3
Gelber Bellefleur							
Grüne Blätter .	22,2	25,9	30,3	36,4	28,6	34,3	28,4
Gelbgrüne Blätter	25,8	33,9	36,8	40,7	36,0	36,2	30,4
Kanada Reinette							
Grüne Blätter	53,6	53,0	53,0	55,0	44,2	35,0	35,5
Gelbe Blätter	24,8	36,3	50,4	53,2	31,0	36,4	35,5
Kalzium							
Gelber Edelapfel							
Grüne Blätter .	4,2	3,0	3,4	3,0	4,4	4,8	5,4
Gelbgrüne Blätter	9,3	10,9	11,2	14,9	12,9	14,9	13,4
Gelber Bellefleur							
Grüne Blätter .	4,7	5,7	5,8	7,0	7,8	6,3	7,3
Gelbgrüne Blätter	4,2	6,8	6,6	8,7	10,0	9,7	8,3
Kanada Reinette							
Grüne Blätter	11,1	11,1	11,6	12,1	14,3	9,8	10,6
Gelbe Blätter	4,8	7,6	10,3	11,5	12,8	10,7	11,3

Wie aus den Zahlengrößen ersichtlich ist, sind die grünen Blätter der Sorte „Gelber Edelapfel“ viel ärmer an Malat und Kalzium. Die Menge der Apfelsäure und des Kalziums nimmt in den

gelben Blättern allmählich zu vom Frühling bis zur Mitte des Sommers, hierauf beginnt eine Abnahme, danach vollzieht sich ein Anstieg und im Herbst eine neue Abnahme. Gesunde Blätter führen im Frühling etwas reichlicher Apfelsäure, später nimmt die Menge ab und steigt zum Schluß der Saison wieder an. Die Veränderung im Gehalt an löslichem Kalzium verläuft beinahe in gleicher Weise.

Die kranken Blätter der Sorte „Gelber Bellefleur" enthalten auch mehr Apfelsäure als die gesunden, der Unterschied ist jedoch nicht so groß wie bei der ersten Sorte. Denselben Unterschied fanden wir auch für den Gehalt an Kalzium.

Am heftigsten war die Krankheit bei der Sorte „Kanada Reinette" ausgeprägt, hier stoßen wir auf ein völlig anderes Bild. Fast während der ganzen Saison sind die kranken Blätter ärmer an Malat, besonders groß ist der Unterschied zwischen kranken und gesunden Blättern zu Anfang des Sommers. Dies gilt auch für das Kalzium. Späterhin steigt in den kranken Pflanzen der Gehalt an Malat und Kalzium, der in gesunden Pflanzen nimmt hingegen ab. In der Mitte des Sommers vollzieht sich zuerst ein Anstieg und darauf eine Abnahme.

Die Betrachtung der im Laufe der Saison 1943 für verschiedene Sorten Malus gewonnenen Ergebnisse führt zu der Schlußfolgerung, daß der Gehalt an Apfelsäure mehr von dem Ca-Gehalt als von der Erkrankung abhängt. Ein Weiteres in dieser Richtung wäre, daß der Ca-Zufluß in die Zelle und dessen Abnahme den Gehalt der Apfelsäure bestimmt. Als Begründung dieser Schlußfolgerung dienen die schon erwähnten Beobachtungen an Pflanzen, die vorzugsweise auf Kalkböden siedeln.

Es läßt sich jedoch auch der entgegengesetzte Schluß ziehen, nämlich der, daß die Apfelsäure auf das in der Zelle befindliche Kalzium wirkt. Wie wir weiter unten sehen werden, steigt die Gesamtmenge des Kalziums in der Pflanze ununterbrochen und gleichmäßig an; dementsprechend müßte also auch der Gehalt an Apfelsäure zunehmen, was tatsächlich nicht geschieht. Betrachten wir noch eine Beobachtung. In den typischen Kalkpflanzen steigt im August der Gehalt an Apfelsäure im Safte beträchtlich an, während der gesamte Ca-Zufluß zu dieser Zeit langsam vor sich geht; in diesem Fall beginnt das unlösliche Kalzium, das in der Pflanze als Niederschlag aufbewahrt wurde, sich energisch zu lösen, zuweilen bis zu 70%.

Der Apfelbaum unterliegt im Vergleich zu anderen Pflanzen hinsichtlich des Gehaltes an Apfelsäure im Verlaufe der Saison erstaunlich großen Schwankungen, was wohl auf den sehr energischen Stoffwechsel zurückzuführen ist. Dies ist aus den Schwankungen

des Gehaltes ersichtlich. Die Veränderungen im Bestande des Kalziums gehen langsamer vor sich, weshalb auch die entsprechenden Kurven keine so heftigen Schwankungen aufweisen.

Beobachtungen an anderen Pflanzen gestatten die Vermutung, daß die Erkrankung an der Kalziose ihre Wirkung auf die Erzeugung der Apfelsäure ausübt. Während der Saison 1941 enthielt ein heftig erkrankter Baum auf 1 g Trockengewicht 13,4 mg Apfelsäure, während ein danebenstehender Baum 23,5 mg enthielt. Hingegen führte der erste 11,3 mg Ca und der letztere nur 6,7 mg Ca.

Die Ergebnisse des Jahres 1942 stimmen mit denen des Jahres 1943 völlig überein, diesen zufolge verlaufen die Veränderungen im Gewebe an Apfelsäure und an zweiwertigen Metallen ungefähr im gleichen Tempo. Von Juni bis August wurden 3 Analysen durchgeführt. Die kranken Blätter waren bedeutend reicher an Apfelsäure und zweiwertigen Ionen, von ersterer wurde in diesen aufeinanderfolgend 62,8 — 53,4 — 54,2 mg bestimmt; von letzteren 15,4 — 15,0 — 11,8 mg. In grünen Blättern wurden 13,4 — 20,0 — 26,5 mg Apfelsäure und 4,3 — 5,4 — 6,1 mg Ca gefunden.

Auch am Kirschbaum beobachten wir die entgegengesetzte Faktorenwirkung der zweiwertigen Kationen und der Erkrankung. Der Kirschbaum war heftiger von der Kalziose ergriffen als der Apfelbaum, deshalb war hier der Einfluß der Krankheit deutlicher ausgeprägt.

Die relativ gesunden Bäume der beiden Kirschsorten waren während der ganzen Saison reicher an Apfelsäure als die ausgesprochen kranken (Tab. 17 und Abb. 13). Viel Säure, besonders

Tabelle 17. Apfelsäure beim Kirschbaum in mg auf 1 g Trockengewicht.

Datum	21.V.	12.VI.	19.VII.	12.VIII.	6.IX.	30.IX.
Gelbe Knorpelkirsche						
Grüne Blätter .	29,7	25,0	27,0	34,5	36,0	30,8
Gelbgrüne Blätter	27,4	20,7	21,4	21,5	—	—
Gelbweiße Blätter	—	—	—	27,9	26,5	26,0
Johanniskirsche						
Grüngelbe Blätter	30,3	29,7	24,8	—	29,6	24,9
Gelbweiße Blätter	12,6	12,2	18,6	—	—	—
Gelbweiße Blätter	—	—	—	13,9	20,9	19,0

in der zweiten Hälfte des Sommers, enthielt der grüne Baum „Gelbe Knorpelkirsche“, wo der Gehalt 36 mg erreicht (Kurve 1). Bei der Sorte „Johanniskirsche“ mit grüngelben Blättern betrug die Säure

30 mg (Kurve 2). Zu Beginn der Saison lag die Kurve der zweiten Sorte höher als die der ersten, zu dieser Zeit enthielt diese mehr zweiwertige Kationen, späterhin nahm jedoch die Menge der Salze und der Apfelsäure bei der ersten Sorte bedeutend zu, wodurch die Kurve höher verläuft als bei der zweiten Sorte.

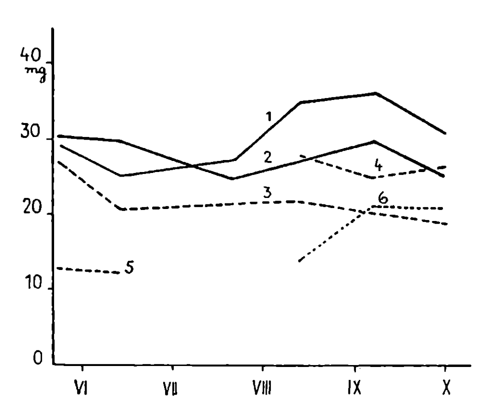


Abb. 13. Apfelsäure beim Kirschbaum. Gelbe Knorpelkirsche: *1* grüne Blätter; *3* gelbgrüne Blätter; *4* gelbweiße Blätter. Johanniskirsche: *2* grüngelbe Blätter; *5* gelbweiße Blätter; *6* gelbweiße Blätter.

Die Kurven der zweiwertigen Metalle und der Apfelsäure stimmen nicht vollkommen überein, es kann nur die Rede sein von einer Tendenz zum Auf- oder Abstieg, die jenen wie dieser gemeinsam ist. In sichtlich erkrankten Bäumen wurden weniger zweiwertige Kationen und Apfelsäure gefunden, wobei die letztere bedeutend zurückblieb. Bei der ersten Messung enthielten die einigermaßen gesunden Blätter etwa 30 mg Apfelsäure, schwach erkrankte 27 mg und heftig erkrankte nur 12 mg. Am 12. VIII. wurden entsprechend folgende Mengen Apfelsäure bestimmt: 34,5 — 27,9 — 21,4 — 13,9 mg. Der letzte Zahlenwert bezieht sich auf den Beginn der Krankheit, späterhin erholte sich der Baum einigermaßen, der Gehalt an Apfelsäure nahm gleichzeitig zu und die Kurven der kranken und der gesunden Blätter begannen sich zu nähern. Hierbei kann deren Alter auch eine gewisse Rolle spielen, worauf oben schon hingewiesen wurde.

Den Gang der Kurven in allen Einzelheiten zu erklären, ist zur Zeit unmöglich, es kann nur die Rede von einer allgemeinen Tendenz sein. Wie wir bei der Zitronensäure sahen, daß alle Kurven der kranken Pflanzen höher verliefen als die der gesunden, so können wir für die Apfelsäure die entgegengesetzte Tendenz feststellen: die kranken Pflanzen enthalten weniger Apfelsäure als die gesunden, die Kurven der ersten liegen tiefer als die der letzten.

4. Kapitel.

Die Kohlenhydrate.

Die vorangegangenen Untersuchungen an der Weinrebe und anderer Pflanzen haben gezeigt, daß die in irgend einer Entwicklungsperiode durchgeführten Analysen des Zuckers und der Stärke keine genügende Gewähr für die Feststellung der Erkrankung an der Kalziose bieten. In kranken Blättern kann die Menge dieses oder jenes Kohlenhydrates größer oder geringer sein. Es kommt vor, daß eine stark chlorotische Pflanze ebensoviel, ja auch mehr Zucker und Stärke enthält als eine gesunde. Sogar systematisch während der ganzen Saison durchgeführte Beobachtungen liefern nicht immer genügend Begründung zur Lösung der Frage, ob die Pflanze an der Chlorose erkrankt ist oder nicht.

Bei einer Analyse im Sommer 1941 enthielten völlig gelbe Blätter eines Apfelbaumes auf 1 g Trockengewicht 36,6 mg Zucker, während die grünen 30,5 mg führten. Bei der zweiten Analyse war der Unterschied noch größer, in gelben — 42,0 mg und grünen — 25,3 mg. In beiden Fällen waren die kranken Pflanzen reicher an Zucker als die gesunden.

In der Saison 1942 wurden vier Analysen vom 28. VI. bis 25. IX. durchgeführt. Die grünen Blätter enthielten die folgende Menge Zucker: 22,7 — 24,1 — 26,4 — 31,3 mg auf 1 g Trockengewicht; die gelben Blätter: 32,9 — 31,6 — 15,7 — 45,5 mg. In 3 von 4 Fällen enthielten die chlorotischen Blätter mehr Zucker als die grünen. Der Gehalt der Stärke war bei grünen 12 — 11 — 28 — 6 mg und bei gelben 11 — 9 — 20 — 6 mg. Der Unterschied war unbedeutend.

Tab. 18 bringt die Ergebnisse der Analysen für Zucker und Stärke während des Jahres 1943. Bei der Sorte „Gelber Edelapfel" enthielten die grünen Blätter in 5 von 7 Fällen mehr Zucker als die gelbgrünen. Zu Beginn und zum Schluß der Saison waren letztere reicher an Stärke, in der Mitte des Sommers nahm diese jedoch bedeutend ab, was in der Abwanderung der Kohlenhydrate in die reifenden Früchte seine Erklärung finden könnte. Im Herbst, nach der Entfernung der Früchte, erfolgte eine erneute Anreicherung der Blätter an Stärke. Die chlorotischen Bäume führten während des ganzen Sommers wenig Stärke, obgleich sie keine Früchte trugen, nur gegen den Herbst zu, als die Kalziose im Schwinden war, nahm der Gehalt an Stärke ein wenig zu.

Bei der Sorte „Gelber Bellefleur" enthielten bald die grünen, bald die gelben Blätter mehr Zucker und Stärke, es fällt schwer,

Tabelle 18. Kohlenhydrate beim Apfelbaum auf 1 g Trockengewicht.

Datum	11.V.	1.VI.	22.VI.	29.VII.	21.VIII.	14.IX.	5.X.
Zucker							
Gelber Edelapfel							
Grüne Blätter .	72	67	75	63	64	58	56
Gelbgrüne Blätter	57	61	57	55	63	73	61
Gelber Bellefleur							
Grüne Blätter .	82	65	67	64	54	42	69
Gelbgrüne Blätter	50	72	62	54	50	69	69
Kanada Reinette							
Grüne Blätter	51	61	69	73	63	62	61
Gelbe Blätter	40	64	58	54	49	54	59
Stärke							
Gelber Edelapfel							
Grüne Blätter .	28	22	13	3	3	24	25
Gelbgrüne Blätter	4	3	2	3	3	17	17
Gelber Bellefleur							
Grüne Blätter .	33	23	21	26	18	31	49
Gelbgrüne Blätter	18	20	18	12	41	45	31
Kanada Reinette							
Grüne Blätter	16	17	12	3	3	13	16
Gelbe Blätter	15	15	14	13	31	31	30

zu bestimmen, in welchen die Kohlenhydratsynthese intensiver vor sich geht. An Hand dieser Pflanze ist es unmöglich, Schlußfolgerungen zu ziehen über die Wirkung der Kalziose auf den Stoffwechsel der Kohlenhydrate. Die grünen Blätter der Sorte „Kanada Reinette“ synthetisierten den ganzen Sommer hindurch mehr Zucker als die gelben; was jedoch die Stärke betrifft, so war ihre Menge in den meisten Fällen in gesunden Blättern geringer.

Am geringsten ist der Stärkegehalt während der Periode der Fruchtbildung, wie Beobachtungen an verschiedenen Apfelsorten zeigen. Meine Analysen der Weinrebe im vorangegangenen Jahre führten zu denselben Ergebnissen. Bei chlorotischen, fast fruchtlosen Pflanzen ist die Abfuhr der Stärke schwach ausgeprägt. Die Kohlenhydrate dienen zur Befriedigung verschiedener Bedürfnisse der Pflanze, auf ihr Konto vollziehen sich Vorgänge wie das Atmen, der Aufbau anderer organischer Verbindungen, auf ihr Konto wer-

den Organe, Früchte, Sprosse usw. gebildet. Deshalb ist die Berechnung des Zuckers und der Stärke sehr schwierig, dieses bewegliche Material ist sehr leicht Veränderungen unterworfen. Im allgemeinen kann man sich dahin äußern, daß die chlorotischen Pflanzen ärmer an Zucker und Stärke sind, der Grad der Erkrankung läßt sich jedoch nicht an Hand der Analysen dieser beiden Kohlenhydrate bestimmen, wie das die Analysen der Zitronensäure und der Stickstoffverbindungen ermöglichen.

Die gewonnenen Ergebnisse wirken überraschend; es dürfte scheinen, daß bei Chlorophyllmangel namentlich die Synthese der Kohlenhydrate in der Pflanze behindert sei. Tatsächlich kann aber ein sehr krankes Blatt von völlig gelber Färbung noch eine genügende Menge sowohl an Zucker wie auch an Stärke bilden.

Der Kirschbaum enthält verhältnismäßig wenig Stärke und sehr viel Zucker. Oft enthielten die kranken, besonders gelbweißen Blätter weniger der beiden Kohlenhydrate als die gesunden. Bei der Weinrebe und dem Apfelbaum konnten wir das Gegenteil beobachten; nur bei sehr scharf ausgeprägter Kalziose, wenn die Blätter schon dem Absterben nahe waren, wurde die Kohlenhydratsynthese sichtlich aufgehalten. Die meisten Blätter der Kirsche waren heftig von der Krankheit mitgenommen, die Ränder starben ab, so daß es einleuchtet, daß hier die Synthese der Kohlenhydrate beeinträchtigt war. Jedoch auch nicht sehr kranke Blätter zeigten eine verminderte Assimilation; so ist die Kirsche in dieser Beziehung empfindlicher als andere Pflanzen.

Der Zuckergehalt in den Blättern der „Gelben Knorpelkirsche“ (Tab. 19) schwankte während der ganzen Saison, er war am größten zu Beginn, dann geringer, sodann wieder größer, wieder geringer und noch einmal größer. Dasselbe Bild boten die grünen und die gelbgrünen Blätter. Dieser wellenförmige Gang der Kurven läßt sich durch das Abströmen der Kohlenhydrate in die Früchte und die neuen Triebe erklären. Bei jeder Messung waren die gelbgrünen Blätter zur gleichen Zeit ärmer an Zucker und Stärke, ausgenommen am Schluß der Saison. Die gelbweißen Blätter hatten nur bei der ersten Messung relativ wenig Zucker, späterhin unterschieden sie sich nicht mehr von den normalen grünen. Also kann die Kohlenhydratsynthese auch bei Mangel an Chlorophyll fast normal verlaufen.

In den zugrundegehenden zusammengerollten Blättern mit absterbenden Rändern der Sorte „Johanniskirsche“ fand sich tatsächlich wenig Zucker, sie enthielten nur 3,6 und 2,9 mg gegen 47,3 und 39,1 mg in grünen Blättern. Die gelbweißen, in der zweiten Hälfte des Sommers gesammelten Blätter enthielten anfangs

Tabelle 19. Kohlenhydrate beim Kirschbaum in mg auf 1 g Trockengewicht.

Datum	21.V.	12.VI.	19.VII.	12.VIII.	6.IX.	30.IX.
		Zucker				
Gelbe Knorpelkirsche						
Grüne Blätter .	45,2	30,0	42,7	18,3	35,6	37,2
Gelbgrüne Blätter	26,7	11,7	23,8	9,1	—	23,1
Gelbweiße Blätter	—	—	—	8,9	33,4	33,3
Johanniskirsche						
Grüngelbe Blätter .	44,3	39,1	33,3	—	40,6	50,2
Gelbweiße Blätter .	3,8	2,9	25,7	21,2	21,9	56,2
		Stärke				
Gelbe Knorpelkirsche						
Grüne Blätter . .	9,6	3,9	5,9	2,9	2,9	3,0
Gelbgrüne Blätter .	1,6	1,7	1,8	1,8	—	6,0
Gelbweiße Blätter .	—	—	—	2,7	1,8	3,0
Johanniskirsche						
Grüngelbe Blätter	4,0	6,5	1,7	—	2,5	1,9
Gelbweiße Blätter .	10,7	3,1	3,3	3,1	2,6	1,7

weniger Zucker — 21,2 und 21,9 mg; am Schluß der Saison jedoch, als die Krankheitsprozesse in ihnen nachließen, war der Zuckergehalt höher als in den übrigen, und zwar 56,2 mg.

Die angeführten Ergebnisse bestätigen die früher an anderen Pflanzen gewonnenen Beobachtungen: die Erkrankung an der Kalziose, die von mangelhafter Chlorophyllbildung begleitet wird, kann die Kohlenhydratsynthese nur bei einem starken Grad der Erkrankung beeinträchtigen, und es ist nicht der Chlorophyllmangel, sondern es sind eher die abnormalen physiologischen Prozesse, die hier in Wirkung treten. Ein Blatt mit wenig Chlorophyll kann Kohlenhydrate in gleichen Mengen enthalten wie auch ein normales grünes, chlorophyllgesättigtes Blatt. Bei diesen Forschungen muß aber freilich auch das Abströmen der Kohlenhydrate in Rechnung gezogen werden; dieses Abströmen kann in der kranken Pflanze aufgehalten werden, was dann den Anschein gibt, diese assimiliere ebenso intensiv wie eine gesunde Pflanze.

5. Kapitel.

Die Salze.

Das Studium des Stoffwechsels der Salze in von der Kalziose ergriffenen Pflanzen ist mit großen Schwierigkeiten verbunden. Zum Unterschied von den Tieren haben die Pflanzen keinen unveränderlichen Bestand an Salzen in Saft, der Gehalt einzelner Ionen kann bei derselben Art in weitem Ausmaß Schwankungen aufweisen, ohne einen erheblichen Einfluß auf den Zustand des Organismus auszuüben. Vom Beginn der Vegetation bis zu deren Ende verändert sich der Salzgehalt wie auch die Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Kationen, was für die Pflanzen ein normaler Vorgang ist. In den jungen Organen herrscht das Kalium vor, während das Magnesium und das Kalzium an zweiter Stelle stehen. Mit der Zeit werden im Saft die zweiwertigen Kationen angereichert, wobei das Kalzium abnehmen oder auch unverändert bleiben kann. Außerdem üben die äußeren Bedingungen und in erster Linie der Boden einen beträchtlichen Einfluß auf den Salzbestand aus.

Von den Kationen wurden von mir das Kalium, das Magnesium und das Kalzium untersucht, gelöst im Zellsaft wie auch im HCl-Extrakt aus dem trockenen Material. Aus den in Saft gelösten Kationen bestehen in erster Linie die organischen Salze. Für den Vergleich der Rollen der einzelnen Elemente bei der Bildung der organischen Salze werden wir uns hauptsächlich an die Grammäquivalente halten; für das Kalium macht dieses 39,096 aus, für das Magnesium 12,16 und für das Kalzium 20,04. Ist ein Grammäquivalent enthalten, so heißt dies, daß die oben besagte Menge an Milligramm in einem Kubikzentimeter Saft aufgelöst ist.

I. Das Kalium.

Bei der Erkrankung an der Kalziose steht das Kalium sichtlich an erster Stelle, im Vergleich zu den gesunden enthalten die kranken Blätter davon bedeutend mehr. Das Kalium wurde im Zellsaft und in salzsaurem Extrakt bestimmt. Beim Apfelbaum befindet sich nicht die ganze Menge Kalium im Saft, im salzsauren Extrakt wurde etwas mehr erfaßt, der Unterschied ist jedoch meist sehr gering; für das Kalzium sind die Verhältnisse hingegen umgekehrt: im Saft führt der Apfelbaum davon meist weniger als im Niederschlag. Weiter unten werden die Zahlenwerte für das Gesamtkalium angeführt.

Schon bei der ersten Bestimmung am 16. VI. 1941 ergab sich in den erkrankten Blättern des Apfelbaumes ein erhöhter Gehalt an Kalium; diese enthielten auf 1 g Trockengewicht 30,6 mg Kalium, während die gesunden nur 12,8 mg führten. Vier Bestimmungen im Jahre 1942 vom 27. VI. bis zum 25. IX. gaben für die grünen Blätter 9,7 — 8,5 — 8,3 — 7,9 mg und für die gelben entsprechend 18,5 — — 17,3 — 14,2 — 13,6 mg. Letztere enthielten also davon zweimal mehr als die ersten.

Tabelle 20. Kaliumgehalt beim Apfelbaum auf 1 g Trockengewicht.

Datum	11.V.	1.VI.	22.VI.	30.VII.	21.VIII.	14.IX.	5.X.
Gelber Edelapfel							
Grüne Blätter .	17,9	19,1	16,1	10,8	10,5	10,9	10,2
Gelbgrüne Blätter	28,9	32,0	26,9	23,9	21,9	21,3	26,0
Gelber Bellefleur							
Grüne Blätter . .	19,2	18,7	16,5	14,7	15,6	14,2	14,2
Gelbgrüne Blätter	25,0	26,1	20,4	22,9	22,9	23,2	22,0
Kanada Reinette							
Grüne Blätter	24,1	24,9	17,9	18,2	22,7	20,7	21,1
Gelbe Blätter	29,4	32,3	38,0	37,9	39,3	36,3	30,1

Die Tab. 20 bringt die Ergebnisse der Bestimmungen des Kaliums für die drei Sorten Apfelbäume im Laufe der Saison 1943 vom 11. V. bis zum 5. X. Abb. 14 veranschaulicht dieselben Ergebnisse für drei grüne und zwei kranke Bäume in Kurven. Bei allen drei Sorten sind die gelben Blätter fast zweimal reicher an Kalium als die grünen. Dieses tritt besonders deutlich auf der Abbildung hervor. Beim Vergleich muß die Fläche zwischen der Abszissenlinie und der entsprechenden Kurve in Betracht gezogen werden. Für die Sorte „Gelber Edelapfel" ist diese Fläche für die grünen Blätter oben durch die Kurve 1 begrenzt und für die gelben durch

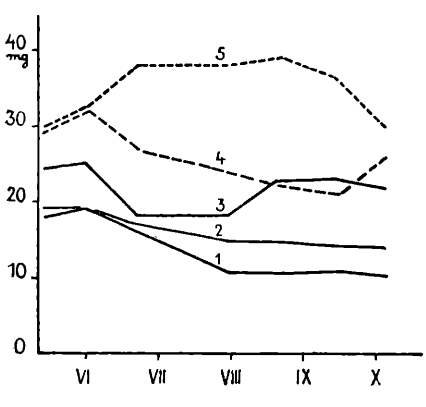


Abb. 14. Kaliumgehalt. Grüne Blätter: *1* Gelber Edelapfel; *2* Gelber Bellefleur; *3* Kanada Reinette. Gelbe Blätter; *4* Gelber Edelapfel; *5* Kanada Reinette.

die Kurve 4. Bei der Sorte „Kanada Reinette" werden diese durch die Kurve 3 für die grünen und durch die Kurve 5 für die gelben Blätter ersetzt. Von drei grünen Bäumen enthielt die erste Sorte die kleinste Menge Kalium, hier zeigten die Blätter noch keine Spuren von Vergilbung, die Kurve verläuft am niedrigsten. Etwas höher schon liegt die Kurve der zweiten Sorte und noch höher die der dritten, in voller Übereinstimmung mit dem Verlauf der Krankheit in den verschiedenen Bäumen. Noch höher verlaufen die Kurven der kranken Blätter, und dies gilt besonders für die Sorte „Kanada Reinette", die am heftigsten von der Krankheit ergriffen war. Den größten Unterschied zeigen die völlig gesunden Blätter der ersten und die stark erkrankten der zweiten Sorte, die Fläche zwischen der Abszissenlinie und der Kurve 5 ist 2,8mal so groß wie die von oben durch die erste Kurve begrenzte Fläche.

Am höchsten steht die Kurve der gesunden Bäume in den ersten Monaten, wie dies für die meisten normalen Pflanzen bezeichnend ist; späterhin sinkt sie allmählich, um dann auf einiger Höhe stehen zu bleiben. Die Kurve eines kranken Baumes hingegen steigt und beginnt erst gegen das Ende des Sommers zu sinken. In den grünen, schon ein wenig kranken Blättern der Sorte „Kanada Reinette" nimmt das Kalium anfangs ein wenig ab, um späterhin anzusteigen. Denselben Vorgang konnten wir in bezug auf die Zitronensäure und den löslichen Stickstoff beobachten (vgl. Abbildung 3 und 11). Aus dem Verlauf der Kurven bestimmte Schlüsse zu ziehen, wäre noch verfrüht. Unumstößlich ist nur die Tatsache, daß die kranken Blätter mehr Kalium enthalten als die gesunden.

Auch bei der Kirsche enthalten die grünen Blätter am meisten Kalium in den jungen Blättern. Die Sorte „Gelbe Knorpelkirsche" enthielt zuerst 17,1 mg und zum Schluß 11,1 mg (Tab. 21), ihre Kurve (Abb. 15, Kurve 1) sinkt langsam.

Tabelle 21. Kaliumgehalt beim Kirschbaum.

Datum	21.V.	12.VI.	19.VII.	12.VIII.	6.IX.	30.IX.
Gelbe Knorpelkirsche						
Grüne Blätter .	17,1	15,2	15,1	15,4	12,8	11,4
Gelbgrüne Blätter	34,1	40,0	37,9	20,4	—	17,6
Gelbweiße Blätter	—	—	—	44,2	40,0	36,8
Johanniskirsche						
Grüngelbe Blätter	15,2	18,0	20,7	—	13,7	14,0
Gelbweiße Blätter	33,5	38,8	32,2	—	—	—
Gelbweiße Blätter	—	—	—	39,3	30,4	28,6

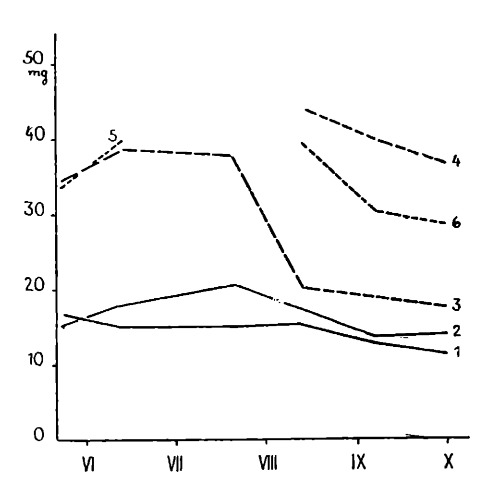


Abb. 15. Kalium beim Kirschbaum. Gelbe Knorpelkirsche: *1* grüne Blätter; *3* gelbgrüne Blätter; *4* gelbweiße Blätter. Johanniskirsche: *2* grüngelbe Blätter; *5* gelbweiße Blätter; *6* gelbweiße Blätter.

Die Erkrankung zieht eine Steigerung des Gehaltes an Kalium nach sich, so führten die gelbgrünen Blätter derselben Sorte zur Zeit des Höhepunktes der Krankheit vom 21. V. bis zum 19. VII. von 34,1 bis 40,0 mg Kalium (Kurve 3), also mehr als die doppelte Menge des in den grünen Blättern enthaltenen. Zu den folgenden Messungen wurden von diesem Baum einerseits gesündere Blätter verwendet und andererseits heftig erkrankte, gelbgrüne mit absterbenden Rändern (Kurve 4). In den ersten ging die Kaliummenge auf 20,4 und 17,6 zurück, dagegen stieg diese in den letzteren bis 44,2 mg, und erst als die Blätter sich gegen den Schluß der Saison hin etwas erholt hatten, sank der Kaliumgehalt auf 36,8 mg.

In den grüngelben Blättern der Sorte „Johanniskirsche" fand sich auch relativ wenig Kalium, anfangs nur 15,2 mg. Im Laufe der Zeit nahm dessen Menge jedoch nicht ab, sondern stieg zum 19. VII. bis 20,7 mg an. Erst gegen den Herbst hin, zu welcher Zeit eine allgemeine Besserung eingetreten war, ging der Kaliumgehalt merklich zurück, obwohl nicht im gleichen Ausmaß wie in der ersten Sorte. Die gelbweißen Blätter waren hier auch reich an Kalium, ob sie nun zu Beginn der Saison entwickelt waren (Kurve 5) oder zum Schluß (Kurve 6). Hier sieht man auch beide Tendenzen — die eine zur Zunahme (Kurve 5) und die andere zur Abnahme (Kurven 5 und 6). Die Abnahme war jedoch unbedeutend, der Tiefstand war bei einem 32,2 und beim anderen 28,6 mg.

So sehen wir, daß bei der Kirsche, ebenso wie bei der Weinrebe und dem Apfelbaum, die Erkrankung an der Kalziose mit der Anwesenheit einer abnormal großen Menge Kalium im Saft verbunden ist; dieses muß unvermeidlich auf den Gang der physiologischen Prozesse wirken. Die grünen Blätter des Kirschbaumes in Franzensbad enthielten 13,7 mg Kalium.

II. Das Magnesium.

Das Magnesium wurde im Zellsaft und im HCl-Auszug bestimmt. Die nach der einen oder der anderen Methode gewonnenen Ergebnisse unterscheiden sich unerheblich voneinander, immerhin war die Magnesiummenge bei dem Auszug durch Salzsäure etwas erhöht.

Magnesium gibt es im Zellsaft, sowohl in absoluten Einheiten als auch in Grammäquivalenten berechnet, bedeutend weniger als Kalium und Kalzium; während der Gehalt an Kalium beim Apfelbaum auf 1 g Trockengewicht 40 mg betrug, war an Magnesium nur 4,5 mg vorhanden; die Kaliumkonzentration im Saft erreichte 0,4 n und die des Magnesiums nur 0,15 n maximal. Am geringsten ist die Magnesiummenge zu Beginn der Saison, späterhin steigt die Menge etwas an bis zum August oder September, und im Herbst nimmt sie wieder ab.

Der Vergleich des Magnesiumgehaltes in den grünen und den gelben Blättern gestattet keinen bestimmten Zusammenhang zwischen diesen und der Erkrankung der Pflanze festzustellen. Die Sorte „Gelber Edelapfel" führt mehr Magnesium in den gelben Blättern:

Grüne Blätter .	2,3	2,4	2,4	2,3	2,4	2,2	2,0
Gelbgrüne Blätter	2,0	3,6	4,1	4,3	4,4	3,8	3,0

Bei der Sorte „Kanada Reinette" waren die grünen Blätter reicher:

Grüne Blätter	3,2	3,2	3,6	4,2	5,3	3,4	2,4
Gelbe Blätter	2,5	2,8	3,4	4,0	4,3	2,9	2,4

Man muß jedoch sagen, daß die grünen Blätter dieser Sorte nicht ganz gesund waren und schon erhöhte Mengen Magnesium enthielten. In der Saison 1942 im Laufe des Sommers ergaben vier Messungen folgende Mengen Magnesium:

Grüne Blätter	1,3	1,7	1,3	2,0 mg
Gelbe Blätter	4,6	4,8	3,7	2,3 mg

So enthielten also die letzteren fast dreimal soviel wie die ersten.

III. Das Kalzium.

Zumeist sind die kranken Pflanzen ärmer an Kalzium als die gesunden, doch sehen wir das Gegenteil beim Apfelbaum (Tab. 22). Die kranken Blätter der ersten Sorte enthielten mehr Kalzium, die der zweiten Sorte ungefähr die gleiche Menge wie die gesunden,

Tabelle 22. Kalziumgehalt beim Apfelbaum auf 1 g Trockengewicht.

Datum	11.V.	1.VI.	22.VI.	29.VII.	21.VIII.	14.IX.	5.X.
Lösliches Kalzium							
Gelber Edelapfel							
Grüne Blätter . .	4,2	3,0	3,4	3,0	4,4	4,8	5,4
Gelbgrüne Blätter	9,3	10,9	11,2	14,9	12,9	14,9	13,4
Gelber Bellefleur							
Grüne Blätter . .	4,7	5,7	5,8	7,0	7,8	6,5	7,3
Gelbgrüne Blätter	4,2	6,8	6,8	8,7	10,0	9,7	8,3
Kanada Reinette							
Grüne Blätter	11,1	11,1	11,6	12,1	14,3	9,8	10,6
Gelbe Blätter	4,8	7,6	10,3	11,5	12,8	10,7	11,3
Gesamtkalzium							
Gelber Edelapfel							
Grüne Blätter . .	9,1	12,0	12,0	12,0	18,4	19,5	21,2
Gelbgrüne Blätter	14,0	15,8	21,0	23,5	27,0	27,4	27,6
Gelber Bellefleur							
Grüne Blätter . .	9,8	15,4	17,4	20,0	21,2	19,2	18,8
Gelbgrüne Blätter	7,0	10,9	16,8	21,0	22,4	19,4	22,6
Kanada Reinette							
Grüne Blätter	18,1	18,9	21,5	27,5	29,0	27,0	26,3
Gelbe Blätter	8,1	12,0	16,0	20,0	20,6	19,6	19,2

und bei der dritten Sorte führten letztere im Vergleich zu den kranken Blättern weniger Kalzium. Auch hier steht die Erkrankung nicht in bestimmtem Zusammenhang mit dem Zufluß des Kalziums aus dem Boden.

In der Saison 1942 wurde in den grünen Blättern 15,4 — — 18,0 — 16,2 — 21,0 mg Kalzium gefunden, während die gelben 20,6 — 24,2 — 21,4 — 20,5 mg, also etwas mehr als die ersten enthielten.

Beim Kirschbaum nimmt die Menge des Kalziums im Zellsaft, wie in den kranken so auch in den gesunden Pflanzen, ununterbrochen zu, doch ist diese Zunahme in den letzten größer als in den ersten. So enthielten die grünen Blätter der Sorte „Gelbe Knorpelkirsche" (Tab. 23) anfangs 3,6 mg lösliches Kalzium, im August schon 14,5, worauf eine Abnahme und dann wieder eine Zunahme folgte. In den gelbgrünen stieg die Kalziummenge vom Frühling bis zum Herbst von 4,4 auf 8,5 mg.

Tabelle 23. Kalziumgehalt beim Kirschbaum.

Datum	21.V.	12.VI.	19.VII.	12.VIII.	6.IX.	30.IX.
Lösliches Kalzium						
Gelbe Knorpelkirsche						
Grüne Blätter . .	3,6	6,9	12,2	14,5	12,3	13,7
Gelbgrüne Blätter .	4,4	4,9	5,9	6,1	—	8,5
Gelbweiße Blätter	—	—	—	7,4	8,7	10,1
Johanniskirsche						
Grüngelbe Blätter .	5,0	5,0	6,3	—	7,7	8,0
Gelbweiße Blätter	3,6	3,6	6,2	—	—	—
Gelbweiße Blätter	—	—	—	4,8	5,2	5,0
Gesamtkalzium						
Gelbe Knorpelkirsche						
Grüne Blätter .	19,7	24,1	27,0	30,9	27,4	33,4
Gelbgrüne Blätter	15,0	15,4	16,6	27,8	—	32,2
Gelbweiße Blätter	—	—	—	18,1	21,5	26,6
Johanniskirsche						
Grüngelbe Blätter	19,5	20,4	23,2	—	—	24,9
Gelbweiße Blätter	14,1	12,5	16,9	—	—	—
Gelbweiße Blätter	—	—	—	15,9	22,7	26,8

Je gesünder das Blatt, desto mehr zweiwertige Kationen enthält dieses im Zellsaft. Abb. 16 veranschaulicht den Gehalt von Magnesium und Kalzium im Saft in Grammäquivalenten auf 1 g Trockengewicht. Am höchsten liegt die Kurve 1 der grünen Blätter der Sorte „Gelbe Knorpelkirsche“, gleich unter dieser folgt die Kurve 2 der grüngelben Blätter der „Johanniskirsche“ und weiter unten die Kurven der kranken Blätter. Diese Lage der Kurven tritt aber nur in der Mitte der Saison deutlich zutage, zur Zeit, wenn die Krankheit am heftigsten auftritt.

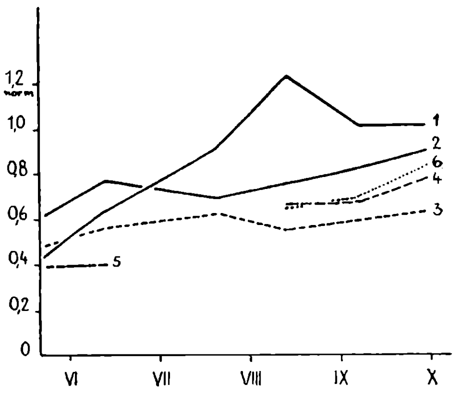


Abb. 16. Magnesium und Kalzium im Saft in Grammäquivalenten auf 1 g Trockengewicht.

Beim Kirschbaum befindet sich die Hauptmenge Kalzium im Niederschlag (s. Tab. 23) besonders in den gesunden Blättern. Und nur

in der zweiten Hälfte des Sommers, wenn die Genesung eintritt, beginnen die Zahlenwerte für die kranken und die gesunden Pflanzen sich einander zu nähern. Die Menge des Kalziums steigt dauernd an, zu Beginn der Saison befindet sich jedoch nur ein geringer Bruchteil, etwa ein Viertel, ja ein Sechstel der Gesamtmenge in Lösung. Späterhin geht immer mehr in Lösung über, und dann findet sich schon ein Drittel, ja sogar die Hälfte im Saft. Das ist eine unter den Kalkpflanzen sehr verbreitete Erscheinung und steht gewöhnlich im Zusammenhang mit der verstärkten Erzeugung von Apfelsäure (vgl. Iljin 1944). Kalziummalat ist im Saft leicht löslich und spielt eine wesentliche Rolle bei der Regulierung des osmotischen Druckes. Die kranken Blätter mit relativ geringem Gehalt an löslichem Kalzium enthalten auch wenig Apfelsäure; in den gelbgrünen Blättern war mehr als zwei Drittel, ja mehr als vier Fünftel des Kalziums im Niederschlag, das heißt in ungelöster Form enthalten.

IV. Die Salze und die Kalziose.

Die Wirkung der Salze auf die Erkrankung der Pflanzen an der Kalziose wird sich genauer erst an Hand von Kulturen klären lassen; die Analysen der Salze in den frei in der Natur wachsenden Pflanzen geben nur Richtlinien zur Veranstaltung solcher Versuche.

Es ist bekannt, daß die Salze einerseits Verbindungen mit den organischen Säuren eingehen und hierdurch deren H-Ionen neutralisieren und anderseits auf die physiologischen Vorgänge wirken. In beiden Fällen liegt der Schwerpunkt nicht in der Gewichtsmenge der Elemente, sondern in deren Wertigkeit. Deshalb fassen wir bei der Betrachtung des Zusammenhanges zwischen den Kationen der Salze und deren Wirkung auf die Erkrankung die Grammäquivalentverhältnisse ins Auge. Da wir bis jetzt beim Studium der Vorgänge in erster Linie von der trockenen Masse und nicht vom Volumen des Zellsafts ausgingen, so wurden auch die Grammäquivalente auf 1 g Trockengewicht umgerechnet. Zu diesem Zweck wurden die für den Zellsaft gewonnenen Zahlenwerte mit dem Verhältnis des Wassers zur Trockensubstanz multipliziert.

A. Die Gesamtmenge an Salzen.

Die Gesamtsumme der Kationen wurde nach der Methode der Elektrolyse und der Analyse der einzelnen Kationen bestimmt.

Bei der Elektrolyse drangen die Basen durch eine Zellophanmembrane zur Kathode, bildeten mit dem Quecksilber ein Amalgam, das später durch Wasser zersetzt, und Hydroxylionen, die mit

0,02 n Schwefelsäure titriert wurden. Andererseits wurden das Kalium, Magnesium und Kalzium im Saft analysiert. Nach der letzten Methode ergaben sich größere Zahlenwerte als nach der ersten, jedoch war das Verhältnis zwischen diesen in beiden Fällen das gleiche. Wenn wir die Summe der Basen in Kurven veranschaulichen wollen, so wäre deren Verlauf bei beiden Bestimmungsmethoden derselbe.

In den kranken Pflanzen ist die Kationensumme K + Mg + + Ca gewöhnlich größer als in den gesunden. Die grünen Blätter der Sorte „Gelber Edelapfel" enthielten fast nur halb soviel Salze wie die gelben. Vom Mai bis zum Oktober wurden folgende Summen der Grammäquivalente festgestellt: 0,86 — 0,84 — 0,90 — 0,62 — — 0,70 — 0,70 in den gesunden Blättern und 1,44 — 1,66 — 1,68 — — 1,77 — 1,63 — 1,68 in den kranken. In den grünen Blättern vollzog sich in der Mitte des Sommers eine Abnahme der Salze, hauptsächlich auf Konto des Kaliums, wogegen in den gelben die Menge der Salze fast unverändert blieb. Bei der Sorte „Gelber Bellefleur" ist die Summe der Kationen in den kranken Blättern größer als in den gesunden: von Mai bis September stieg die Summe von 0,99 bis 1,45 Grammäquivalent, um zum Oktober wieder auf 1,13 zu sinken. In den grünen Blättern stieg die Summe zuerst von 0,88 bis 1,01 und sank dann auf 0,89.

Bei der Sorte „Kanada Reinette" waren die grünen Blätter auch schon von der Krankheit ergriffen, in diesen veränderte sich die Summe der Grammäquivalente aller Kationen in folgenden Zahlenreihen: 1,43 — 1,45 — 1,33 — 1,43 — 1,62 — 1,35 — 1,20 und in den gelben Blättern: 1,35 — 1,44 — 1,77 — 1,84 -- 2,00 — — 1,71 — 153. Beide Bäume dieser Sorte hatten einen Überschuß an Salzen im Zellsaft, und die Gesamtkonzentration stieg bis 2,0 Grammäquivalent, was selten an Pflanzen unseres Klimas beobachtet wird. Reicher an Salzen waren die frisch und heftig erkrankten Blätter.

Bei den ersten Messungen 1941 war die Summe der Kationen in den grünen Blättern gleich 1,01, während sie in den kranken 1,75 Grammäquivalent betrug; folglich war auch hier in den kranken Pflanzen ein Überschuß an Salzen zu vermerken. Während der Saison 1942 sind folgende Zahlen für die grünen Blätter gefunden worden: 0,60 — 0,68 — 0,59 — 0,78 und für die gelben: 1,35 — 1,30 — 1,08 — 1,17, also sind die Werte für die kranken fast doppelt so groß.

Dasselbe finden wir auch beim Kirschbaum. In Tab. 24 sind die Ergebnisse der elektrolytischen Messungen angeführt. Die Summe der Basen bleibt für ein und dieselben Pflanzen während der Saison

Tabelle 24. Alle Katione in Grammäquivalenten auf 1 g Trockengewicht.

Datum	12.VI.	19.VII.	12.VIII.	6.IX.	30.IX.
Gelbe Knorpelkirsche					
Grüne Blätter . .	0,83	0,96	0,93	0,94	0,84
Gelbgrüne Blätter	1,36	1,31	0,86	—	0,82
Gelbweiße Blätter	—	—	1,79	1,60	1,45
Johanniskirsche					
Grüngelbe Blätter	0,69	1,00	—	0,87	0,89
Gelbweiße Blätter	1,12	1,29	—	—	—
Gelbweiße Blätter	—	—	1,57	1,20	1,10

nicht die gleiche, sondern unterliegt fortwährenden Veränderungen. Wenn wir die zu gleicher Zeit gewonnenen Ergebnisse vergleichen, so ist in allen Fällen die Summe der Basen in den kranken Pflanzen höher als die in den gesunden. In den grünen Blättern der Sorte „Gelbe Knorpelkirsche“ steigt die Konzentration der gelösten Salze langsam vom Frühjahr bis gegen den Herbst hin und stabilisiert sich dann mit kleinen Schwankungen ungefähr auf 0,9. In den sichtlich erkrankten Blättern überschritt die Konzentration bei den ersten Messungen 1,3. In gesünderen Blättern war die Summe nach dem 12. VIII. bedeutend niedriger, etwa 0,8—0,9. Zur selben Zeit wurden am selben Baum die neu entwickelten gelbweißen Blätter geprüft, die deutlich Spuren der Krankheit trugen. Der allgemeinen Regel zufolge müßten diese Blätter als die jüngsten eine niedrigere Menge von Salzen enthalten als die alten. Aber in diesem Falle übte die Krankheit ihren Einfluß und die Konzentration, sie war hier zweimal höher — von 1,79 bis 1,44 Grammäquivalent.

Bei der Sorte „Johanniskirsche“ führten die Prüfungen zu ähnlichen Ergebnissen. In den gesünderen Blättern schwankte die Konzentration der Basen zwischen 0,7 und 1,0, während diese in den heftig erkrankten Blättern in der ersten Hälfte des Sommers 1,12 und 1,29 betrug und in den im Laufe des Sommers gewachsenen Blättern zuerst 1,57 und dann 1,1 ausmachte.

Eine normale Pflanze zeigt mit dem Wuchs des Blattes die Tendenz, die Salze im Saft aufzuspeichern; diese nehmen erst gegen den Herbst zu etwas ab. In den kranken Pflanzen beobachten wir das entgegengesetzte Bild: die Konzentration der Salze nimmt ab, was in gewissem Grade mit der Genesung zusammenhängt. Eine große Anreicherung der Salze im Pflanzensaft während der Erkrankung an der Kalziose kann zu Störung der physiologischen Vorgänge führen.

Eine parallele Bestimmung der Anionen ergibt für diese einen bedeutend geringeren Gehalt im Vergleich zu den Kationen. Die meisten in den Pflanzen vorkommenden organischen Säuren lassen sich durch die Salze des Kalziums und des Bariums fällen, wenn man zwei oder drei Volumina Weingeist hinzugießt. Doch lassen sich die Milchsäure, die Essigsäure und einige andere nicht fällen; diese kommen aber, wie die Analysen zeigen, im Apfelbaum kaum vor. Nach der Menge des Kalziums und des Bariums kann man daher die Konzentration der organischen Säuren ermitteln. Außerdem habe ich, wie schon erwähnt, die Zitronen- und Apfelsäure bestimmt. Die Summe der Konzentrationen dieser beiden letzteren ist gewöhnlich geringer als die Summe der durch das Kalzium gefällten Säuren, und zwar um 20—30%.

In allen untersuchten Fällen war die Gesamtkonzentration der Kationen höher als die der Anionen. In kranken Pflanzen besteht ein Anionendefizit, das seine Wirkung auf die physiologischen Vorgänge üben kann.

B. Der Vorrang des Kaliums und das Verhältnis zwischen ein- und zweiwertigen Kationen.

Das Kalium herrscht in den kranken Blättern im Vergleich zu den gesunden vor und dies nicht nur beim Apfel- und Kirschbaum, sondern auch in anderen Pflanzen, wie z. B. in Vitis vinifera, Lupinus albus, L. luteus, Cydonia oblonga, Fraxinus excelsior, Robinia pseudacacia. Philadelphus coronaria u. a. Die Überladung der kranken Zellen mit Kationen geschieht in erster Linie auf Rechnung des Kaliums.

Der Überschuß an Salzen und im besonderen an Kalium kann bei der Kalzioseerkrankung der Pflanzen eine Rolle spielen. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß es keinen genauen Parallelismus gibt zwischen den Veränderungen am Gehalt des Kaliums und der Entwicklung der eigenartigen, die Kalziose begleitenden physiologischen Vorgänge. Während der ersten Monate der Saison vollzieht sich im Apfelbaum eine besonders energische Anreicherung an Zitronensäure und löslichem Stickstoff. An der Weinrebe ließen sich ungefähr dieselben Veränderungen im Kaliumgehalt beobachten, dies gilt aber nicht für den Apfelbaum. Im Laufe der Saison nahm das Kalium auch bei der Sorte „Gelber Edelapfel“ ab; bei der Sorte „Gelber Bellefleur“ war die Veränderung schwach ausgeprägt; bei der am heftigsten erkrankten Sorte „Kanada Reinette“ hingegen nahm das Kalium allmählich zu. Wenn das Kalium allein unmittelbar auf die Erkrankung und deren biochemische Begleit-

vorgänge wirken würde, müßte die Kurve für das Kalium parallel zu den Kurven für die Zitronensäure und den löslichen Stickstoff verlaufen, was tatsächlich nicht der Fall ist. Man darf aber nicht außer acht lassen, daß die Blätter der Weinrebe, die einen Parallelismus in den Kurven für das Kalium und den Stickstoff aufweist, sich im Genesungsstadium befanden, was beim Apfelbaum nicht der Fall war; während der ganzen Saison behielt dieser die äußeren typischen Merkmale einer kranken Pflanze, und alle neu erscheinenden Blätter waren gelb. Hier konnte folglich der Überschuß an Kalium seine Wirkung ausüben und die Genesung verhindern.

Oben haben wir gesehen, daß die kranken Pflanzen nicht nur viel Kalium enthalten, sondern auch reich an Stickstoff sind. Es läßt sich die Vermutung aussprechen, daß die Krankheit nicht nur durch einen, sondern durch mehrere gleichzeitig wirkende Faktoren hervorgerufen wird, die somit den anormalen Verlauf der physiologischen Vorgänge bewirken. In diesem Fall wäre es also die überschüssige Anhäufung von Stickstoffprodukten und Kalium.

Die Wirkung der einwertigen Kationen auf einen lebenden Organismus kann, wie man weiß, durch die Einführung von zweiwertigen paralysiert werden. Es lassen sich viele Beispiele für diese antagonistische Wirkung anführen. Für die normalen Pflanzen ist zu Beginn der Saison ein bedeutender Gehalt an Kalium bezeichnend, dagegen enthält der Zellsaft um diese Zeit wenig zweiwertige Metalle, die späterhin zunehmen und ihre antagonistische Wirkung verstärken. Bei der Sorte „Gelber Edelapfel“ sank die Kaliummenge von Mai bis September von 0,81 auf 0,47 Grammäquivalenten, wogegen das Magnesium und das Kalzium von 0,63 auf 1,07 anstiegen. Bei der Sorte „Gelber Bellefleur“ nahm das Kalium im gleichen Zeitraum in den grünen Blättern von 0,49 auf 0,34 ab, während die Magnesium- und Kalziummenge von 0,38 auf 0,64 anwuchs; in den kranken Blättern war das erste von 0,64 auf 0,59 gesunken und die letzteren von 0,35 auf 0,80 angestiegen. Bei der Sorte „Kanada Reinette“ sank das Kalium von 0,62 auf 0,41, stieg jedoch dann wieder bis 0,58; die zweiwertigen Metalle wachsen von 0,81 auf 1,15; in den gelben Blättern vermehrte sich das Kalium von 0,76 auf 1,01 und ebenso auch die zweiwertigen Metalle, die von 0,50 auf 0,99 Grammäquivalenten stiegen und dann auf 0,77 sanken. Bei den beschriebenen Beobachtungen wurden die im Zellsaft aufgelösten Salze in Betracht gezogen und nicht deren Gesamtmenge in der Pflanze.

Fernerhin wurden die Grammäquivalentverhältnisse zwischen den Konzentrationen der ein- und zweiwertigen Kationen

K : (Mg + Ca) berechnet. Für normale Pflanzen kann dieses Verhältnis nur im Laufe der Frühlingsmonate größer als eins sein; mit dem Zuströmen des Mg und Ca nimmt das Verhältnis ab und wird kleiner als eins: Die beschriebenen Verhältnisse sind in den Kurven der Abb. 17 für die Sorte „Kanada Reinette" veranschaulicht. Die Kurve der grünen Blätter (1) verläuft bedeutend niedriger als die der gelben (2). Während der ganzen Saison ist das Verhältnis für die ersten kleiner als eins, für die letzteren jedoch größer. Eine Kurve der Sorte „Bellefleur" würde für die gelben Blätter auch höher verlaufen als für die grünen, für die Sorte „Gelber Edelapfel" würden die Kurven einander kreuzen, da die grünen Blätter hier sehr wenig Kalzium enthielten.

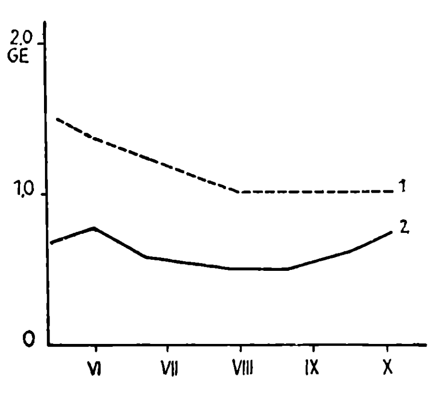


Abb. 17. Das Verhältnis K: (Mg + Ca) bei Kanada Reinette: *1* grüne Blätter; *2* gelbe Blätter.

Um diese Ergebnisse zusammenzufassen, können wir sagen, daß im Vergleich zu den gesunden das Kalium in den kranken Blättern vorherrscht und daß dessen Verhältnis zu den zweiwertigen Kationen in ersteren Pflanzen größer ist als in letzteren. Wenn die Salze einen Einfluß auf die Erkrankung der Pflanzen ausüben und den normalen Verlauf der physiologischen Vorgänge verändern, so muß hierbei an erster Stelle das Kalium stehen. Ein allgemeiner Überschuß aller Salze kann jedoch auch seine Wirkung tun.

Es ließe sich allerdings auch die entgegengesetzte Vermutung aussprechen, nämlich daß der Überschuß an Salzen nicht die Ursache der Krankheit darstellt, sondern deren Folge. Der Organismus kann zu schwach sein, um die Aufnahme der Salze aus dem Boden zu regulieren, die er dann in großen Mengen absorbiert. Welche der besagten Erwägungen dem Tatsachenbestand entspricht, darüber werden nur künftige Forschungen entscheiden können.

Tab. 25 und Abb. 18 bringen die Ergebnisse der Berechnungen des Verhältnisses der ein- und zweiwertigen Kationen beim Kirschbaum. Für die grünen Blätter (Kurve 1) der „Gelben Knorpelkirsche" war bloß bei der ersten Messung das Verhältnis etwas größer als eins, bald sank es jedoch auf 0,61 und zum Schluß der Saison auf 0,26. Zur Zeit der heftigsten Krankheitsphase schwankte

Tabelle 25. Verhältnis K : (Mg + Ca) in Grammäquivalenten.

Datum	21.V.	12.VI.	19.VII.	12.VIII.	6.IX.	30.IX.
Gelbe Knorpelkirsche						
Grüne Blätter . .	1,07	0,61	0,42	0,31	0,30	0,26
Gelbgrüne Blätter	1,87	1,86	1,58	0,65	—	0,70
Gelbweiße Blätter	—	—	—	1,72	1,50	1,19
Johanniskirsche						
Grüngelbe Blätter	0,64	0,60	0,77	—	0,40	0,39
Gelbweiße Blätter	2,23	2,48	1,28	—	—	—
Gelbweiße Blätter	—	—	—	1,55	1,11	0,87

das Verhältnis bei den ersten drei Messungen in den gelbgrünen Blättern zwischen 1,87 und 1,58; als nach dem 12. VIII. gesündere Blätter geprüft wurden, sank es auf 0,65, bis zum Schluß der Saison sank es jedoch nicht so tief, wie es in den grünen Blättern beobachtet wurde, da jene Blätter immerhin krank waren. Und in den während des Sommers am selben Baum getriebenen Blättern von gelbweißer Farbe war das Verhältnis zuerst 1,72; es sank am Ende der Vegetation auf 1,19, als die Blätter sich zu erholen begannen.

Ähnliche Verhältnisse wurden bei der „Johanniskirsche“ beobachtet, jedoch ließ anfangs die Krankheit beim gesünderen Baum (Kurve 2) nicht nach, in Übereinstimmung damit sank die Kurve während dieser Periode nicht; ein niedriger Stand der Kurve konnte erst gegen den Herbst zu beobachtet werden. Das Verhältnis zwischen den ein- und zweiwertigen Kationen ist hier bedeutend größer als eins. Wie schon erwähnt, war ein Baum dieser Sorte zu Beginn der Saison sehr heftig von der Krankheit ergriffen, seine Blätter waren gelbweiß und starben an den Rändern ab. Nur zweimal gelang es, Proben der heftig erkrankten Blätter zu ge-

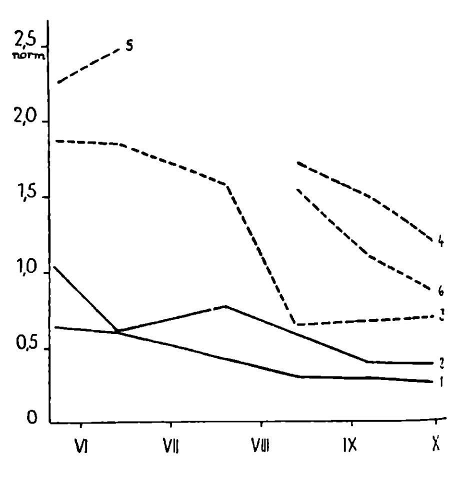


Abb. 18. Verhältnis K: (Mg + Ca) in Grammäquivalenten. Gelbe Knorpelkirsche: *1* grüne Blätter; *3* gelbgrüne Blätter; *4* gelbweiße Blätter. Johanniskirsche: *2* grüngelbe Blätter; *5* gelbweiße Blätter; *6* gelbweiße Blätter.

winnen, zur dritten Prüfung wurden Blätter von anderen Zweigen verwendet, die nicht so von der Kalziose gelitten hatten (Kurve 5). Bei den beiden ersten Messungen war das Verhältnis höher als zwei und erreichte 2,48 zu der Zeit, da die Blätter abstarben; bei der dritten Bestimmung war das Verhältnis gleich 1,26. Auch für die neu entwickelten Blätter war das Verhältnis bei den ersten Messungen ein hohes und sank dann bis unter eins.

In der zweiten Hälfte des Sommers ist das Verhältnis zwischen den ein- und zweiwertigen Kationen niedriger als in der ersten. Das ist ganz verständlich, da in dieser Zeit alle Blätter viel Kalzium aufnehmen und erfolgreicher gegen die Krankheit kämpfen als während des Frühjahrs.

Die Kaliummenge verringert sich wenig in den erkrankten Blättern im Laufe der Vegetation, ja sie kann auch zunehmen. Dagegen nehmen die Stickstoffzerfallprodukte im Saft ab und deren Kurven fallen steil ab. Dies tritt besonders deutlich bei den in der zweiten Sommerhälfte gebildeten Blättern hervor, wie wir schon gesehen haben. Wenn zwischen der Anspeicherung des Kaliums und dem Zerfall der Eiweiße ein bestimmter Zusammenhang bestünde, so müßte zu erwarten sein, daß die Kurven dieser beiden Vorgänge übereinstimmen, was tatsächlich selten beobachtet wird. Offenbar spielen hier außer dem Kalium noch andere Faktoren mit. Einer dieser Faktoren könnte der Überschuß an Stickstoff sein; wie ich schon erwähnte, vollzieht sich ein abnormer physiologischer Vorgang während der Kalziose bei gleichzeitiger Anwesenheit großer Mengen von Stickstoff und Kalium; das Vorhandensein eines einzigen dieser Stoffe kann diese Wirkung nicht ausüben. Als zweiter Faktor, der den Einfluß des Kaliums beeinträchtigt, kann die antagonistische Wirkung der zweiwertigen Kationen angesehen werden, die dauernd in die Pflanze einströmen.

Es ist zu beachten, daß eine Pflanze, die große Mengen Kalium aufbewahrt, keine vollständige Genesung erreicht; sie behält die äußeren und inneren Wahrzeichen der Krankheit, die gelbe Färbung der Blätter und eine überschüssige Menge Zitronensäure.

Aus der allgemeinen Physiologie ist bekannt, daß das Kalzium dem Kalium gegenüber einen regeren Antagonisten darstellt als das Magnesium. Wenn wir nur das Verhältnis zwischen dem Kalium und dem Kalzium in Betracht ziehen, so ist der Unterschied zwischen den kranken und den gesunden Pflanzen noch größer und die Kurven der chlorotischen Blätter fallen steiler ab und kommen den Kurven der im Zellsaft gelösten Stickstoffderivate nahe. Zu Beginn der Saison kann bei den grünen Blättern das Verhältnis K : Ca nicht nur größer als eins, sondern gleich zwei sein, worauf

es bis 0,5 zurückgeht. In den kranken Blättern steigt dieses Verhältnis bis 5,5 und sinkt selten unter drei, was hauptsächlich im Herbst geschieht, wenn die Pflanze viel Kalzium aufnimmt und sich erholt.

Aus dem oben Gesagten ist zu ersehen, wie kompliziert die Wechselbeziehungen der verschiedenen auf das Leben der Pflanze wirkenden Faktoren sind. Wenn die Salze eine Rolle bei der Erkrankung an der Kalziose spielen, so entzieht sich doch deren Einfluß einer genauen Berechnung. Auch ist zu beachten, daß die Empfindlichkeit des Protoplasmas den Salzen gegenüber in den verschiedenen Entwicklungsperioden nicht die gleiche ist. Für die jungen Zellen ist eine Anhäufung von Kalium bezeichnend bei geringen Mengen Ca; das Gegenteil gilt für die erwachsenen und alten Zellen. Deshalb darf man nicht erwarten, daß die Kurven der Salze und der durch diese bedingten physiologischen Vorgänge vollkommen übereinstimmen. Es kann hier nur die Rede sein von einer allgemeinen Tendenz, ohne daß eine streng quantitative Deckung zu erwarten ist. Wie wir an den Kurven gesehen haben, tritt eine solche Tendenz deutlich hervor.

V. Das Eisen.

Dem Eisen wurde immer eine besondere Bedeutung bei der Erklärung der Kalziose-Erkrankung der Pflanzen zugeschrieben. Man vermutete, daß die alkalische Reaktion des Bodens die Löslichkeit des Eisens beeinträchtige und hierdurch dessen Zutritt in die Pflanze aufhalte. Das diesbezügliche Schrifttum ist von mir in vorausgegangenen Publikationen erörtert worden (1942, 1943), weshalb ich mich hier wohl nicht mehr damit zu befassen brauche. Wir wollen nun die speziell für den Apfel- und Kirschbaum gewonnenen Ergebnisse betrachten.

In den von mir veröffentlichten Arbeiten über die Weinrebe und die weiße Lupine wurde darauf hingewiesen, daß man keinen Zusammenhang zwischen der Erkrankung der Pflanzen und der in diesen erhaltenen Menge Eisen feststellen kann. Für den Apfelbaum kommt man zu den gleichen Schlußfolgerungen. Die Ergebnisse der Analysen 1943 sind auf der Tab. 26 angeführt.

Bei allen untersuchten Apfelbäumen fällt die größte Menge Eisen auf den Frühling, späterhin vermindert sie sich, kann jedoch auch wieder zu steigen beginnen. Am Anfang der Saison, als die Krankheit schon deutlich ausgeprägt war und die für die Kalziose so bezeichnenden biochemischen Vorgänge heftig auftraten, war die Menge Eisen in den kranken Blättern ebenso groß wie in den ge-

Tabelle 26. Eisengehalt beim Apfelbaum in mg auf 1 g Trockengewicht.

Datum	11.V.	1.VI.	22.VI.	29.VII.	21.VIII.	14.IX.	5.X.
Gelber Edelapfel							
Grüne Blätter .	0,205	0,179	0,192	0,184	0,159	0,163	0,140
Gelbgrüne Blätter	0,205	0,161	0,190	0,168	0,157	0,163	0,120
Gelber Bellefleur							
Grüne Blätter . .	0,194	0,173	0,095	0,108	0,100	0,086	0,080
Gelbgrüne Blätter	0,235	0,121	0,089	0,121	0,122	0,090	0,116
Kanada Reinette							
Grüne Blätter	0,180	0,153	0,119	0,115	0,105	0,067	0,085
Gelbe Blätter	0,233	0,171	0,109	0,119	0,085	0,110	0,115

sunden, ja manchmal noch größer. Späterhin herrscht das Eisen in den grünen Blättern der ersten Sorte etwas vor; es kann aber auch in beiden in gleichen Mengen vorhanden sein. Die zweite Sorte enthielt bald in den einen, bald in den anderen Blättern mehr Eisen. Und schließlich wurden in der dritten Sorte öfter größere Mengen Eisen (in 5 von 7 Fällen) in den kranken Blättern gefunden.

1942 führten die Analysen genau zu denselben Ergebnissen. In den grünen Blättern wurde von 0,092 bis 0,125 mg Eisen gefunden und in den gelben von 0,092 bis 0,125 mg. Der völlig gesunde, in Franzensbad am 10. VII. 1943 analysierte Baum, enthielt im Vergleich zu allen anderen Apfelbäumen die minimale Menge Eisen von 0,079 mg; noch weniger enthielt davon ein gesunder in Baden am 23. IX. desselben Jahres, und zwar nur 0,056 mg. Diese Zahlenwerte stehen hinter den für die chlorotischen Bäume gewonnenen weit zurück; so enthielten die heftig von der Krankheit ergriffenen Bäume der Sorte „Kanada Reinette“ von 0,120 bis 0,205 mg und bei der Sorte „Weißer Winterkalvill“ war der Eisengehalt in den im höchsten Grade erkrankten Bäumen 0,138 mg.

Der Kirschbaum führte in den chlorotischen Blättern mehr Eisen als in den grünen; dies widerspricht dem, was die Verteidiger der Theorie des Eisenmangels bei der Chlorose vermuten. Tab. 27 bringt die Analysenergebnisse.

Wenn wir nach diesen Daten die grünen und die chlorotischen Blätter der „Gelben Knorpelkirsche“ vergleichen, so erweist sich, daß die kranken nicht nur nicht weniger, sondern sogar mehr Eisen enthalten. Am 12. VIII. und am 6. IX. enthielten die grünen Blätter 0,126 und 0,137 mg Eisen, während in den gelbweißen, kaum

Tabelle 27. Eisengehalt beim Kirschbaum.

Datum	21.V.	12.VI.	19.VII.	12.VIII.	6.IX.	30.IX.
Gelbe Knorpelkirsche						
Grüne Blätter.	0,090	0,066	0,076	0,126	0,137	0,133
Gelbgrüne Blätter	0,132	0,126	0,128	0,138	—	0,134
Gelbweiße Blätter	—	—	—	0,175	0,184	—
Johanniskirsche						
Grüngelbe Blätter	0,158	0,140	0,199	—	0,049	0,049
Gelbweiße Blätter	0,105	0,124	—	—	—	—
Gelbweiße Blätter	—	—	—	0,221	0,169	0,134

Chlorophyll und Karotin enthaltenden, 0,175 und 0,184 mg gefunden wurde. Auch sehr reich an Eisen waren die im Sommer gewachsenen Blätter der „Johanniskirsche" — 0,221 und 0,134 mg gegen 0,043 und 0,049 mg in den gesünderen Blättern. Am wenigsten Eisen wurde in den ganz gesunden und grünen Blättern des Kirschbaumes in Franzensbad auf saurem Boden gefunden, nämlich nur 0,031 mg.

Die durchgeführten Analysen zeigen ganz klar, daß die Gesamtmenge des in den Blättern enthaltenen Eisen in keinem Zusammenhang mit deren Erkrankung an der Kalziose oder Kalkchlorose steht. Auch in der Natur beobachten wir, wie die meisten wildwachsenden Kulturpflanzen auf Kalkböden normale grüne Blätter entwickeln und nur vereinzelte Kulturrassen an der Chlorose erkranken und spärlich Chlorophyll und gelbe Pigmente entwickeln. Demzufolge darf man nicht glauben, das Eisen sei der Pflanze unzugänglich wegen der alkalischen Bodenreaktion, man darf vielmehr nur annehmen, daß der Boden in der Pflanze einen besonderen Verlauf der physiologischen Vorgänge bewirkt.

Zusammenfassung.

Die auf Kalkböden auftretende, sogenannte Kalkchlorose der Pflanzen wird nicht nur vom äußeren Anzeichen des Vergilbens (der Chlorose) begleitet, sondern auch noch von sehr charakteristischen inneren physiologischen und biochemischen Vorgängen. Unter gewissen Umständen können diese sich ohne das Vorhandensein des Vergilbens kundtun, wenn die Krankheit erst nach der Ausbildung der Blätter ihren Anfang nahm; dann werden aber die neu sprießenden Blätter schon gelb sein, was sich nach den Analysen voraussagen läßt. Die Kalkchlorose kann ohne Chlorose vorkommen, wir nennen sie nach Höflers Vorschlag — Kalziose.

Soweit sich auf Grund der von mir durchgeführten Analysen ein Urteil fällen läßt, kann der Einfluß des Bodens auf die Erkrankung an Kalziose einer überschüssigen Anreicherung von Stickstoffverbindungen, Kalium und Salzen im allgemeinen zugeschrieben werden. Man könnte auch annehmen, daß die besagten Verbindungen in die erkrankten Organe aus anderen Pflanzenteilen zuströmen und ferner, daß der Überschuß an Salzen dadurch bewirkt wird, daß die Fähigkeit der Wurzeln, den Zustrom aus dem Boden zu regulieren, irgendwie gestört ist. Diese Fragen unterliegen weitergeführten Forschungen, an dieser Stelle kann nur darauf verwiesen werden, worin möglicherweise der Einfluß des Bodens auf die Erkrankung besteht.

Die Salze sind imstande, den Verlauf der physiologischen Vorgänge zu beeinflussen und mit Ursache an der Kalziose-Erkrankung zu sein. In der Frühjahrsperiode, wo die abnormalen Erscheinungen besonders heftig auftreten, herrscht das Kalium im Safte vor, sowohl in der absoluten Menge wie auch in der Grammäquivalentkonzentration. Späterhin strömen Magnesium und Kalzium zu, und allmählich tritt das Gleichgewicht zwischen den ein- und zweiwertigen Kationen ein. Gleichzeitig flauen auch die abnormalen Vorgänge ab. In den normal entwickelten Pflanzen haben die zweiwertigen Kationen gewöhnlich den Vorrang vor den einwertigen. Bei der Erkrankung ist das Verhältnis K: (Mg + Ca) größer als eins und steht um so höher, je heftiger die Krankheit ausgeprägt ist. Der Gehalt an Kalium in einer kranken Pflanze nimmt im Laufe der Saison nicht nur nicht ab, wie dies in grünen Blättern beobachtet wird, sondern kann sogar zunehmen. Das Verhältnis K: Ca unterliegt unter dem Einfiuß der Krankheit den schärfsten Veränderungen im Laufe der Saison. Die Kurven dieses Verhältnisses stehen den Kurven der löslichen Stickstoffverbindungen am nächsten. Das Kalzium neutralisiert die schädliche Wirkung des Kaliums und fördert die Heilung der Krankheitserscheinungen.

Die Gesamtkonzentration der Salze, die sogenannte Summe der Basen, ist in den kranken Blättern höher als in den gesunden. Sogar die jungen Blätter führen, wenn sie stark erkrankt sind, im Saft mehr Salze als vollkommen entwickelte und relativ gesunde Blätter. Die Summe der Basen steigt in den normalen Pflanzen mit dem Alter; für die an der Kalziose erkrankten Pflanzen ergeben sich aber ganz besondere Verhältnisse. Sehr kranke junge Blätter enthalten anfangs viele Salze, mit der Genesung nehmen diese mehr und mehr ab, obgleich die Blätter mit dem Alter reicher an Salzen werden müßten.

Kein Grund liegt vor anzunehmen, die Erkrankung an der Kalziose wäre durch das schwache Zuströmen des Eisens aus dem alkalischen Boden bedingt. Auf sauren Böden können die Blätter bedeutend weniger Eisen enthalten als auf alkalischen und hellgrün bleiben. Die chlorotischen Blätter des Kirschbaums von gelbweißer Farbe, die fast pigmentlos sind, sind gewöhnlich reicher an Eisen und können davon viel mehr enthalten als die grünen.

Die an Kalziose erkrankten Pflanzen enthalten anfangs mehr Gesamtstickstoff als die gesunden Pflanzen. Im Laufe der Zeit tritt mit dessen Abnahme gewöhnlich die Genesung ein; findet diese nicht statt, so können die Blätter absterben und abfallen. Anfangs vollzieht sich die Abnahme sehr schnell, von einer gewissen Höhe an verläuft der Vorgang jedoch langsamer.

Trotzdem die kranken Pflanzen reicher an Gesamtstickstoff sind, enthalten sie doch weniger unlöslichen und Eiweißstickstoff. Die Erkrankung wird gewöhnlich von einer Zerstörung des unlöslichen Stickstoffes begleitet; in den jungen Geweben kann dieser jedoch sogar bei starker Kalziose eine Zeitlang zunehmen, während der Gesamtstickstoff abnimmt.

In den normalen Blättern bilden die löslichen Stickstoffverbindungen 2 bis 5% des Stickstoffs, wogegen deren Gehalt in den kranken Pflanzen 30% und 50%, ja bei heftiger Erkrankung bis 75% erreichen kann. Die Eiweißderivate können giftig sein und die Pflanze vergiftet, was eine Störung der normalen Stoffwechselvorgänge, wie der Bildung des Chlorophylls und anderer Erscheinungen, ja das Absterben der Gewebe zur Folge haben kann. Die Zerfallsprodukte werden durch den Transpirationsstrom in die jungen wachsenden Teile verschoben und konzentrieren sich an den Blatträndern, wo sich zuerst das Vergilben zeigt. Die Pflanze bemüht sich, diese Derivate zu zerstören und auszuscheiden, der lösliche Stickstoff nimmt allmählich ab und gleichzeitig genest die Pflanze.

Wie ist die Anreicherung der löslichen Stickstoffprodukte in kranken Blättern zu erklären? Sie könnten hierher aus dem Boden gelangen oder auch aus anderen Pflanzenteilen, wie z. B. aus den erwachsenen Blättern, wie auch aus den Reserveorganen. Die Produkte können aber auch in den erkrankten Blättern selbst erzeugt werden, da in diesen die dissimilatorischen Vorgänge dominieren.

Ungefähr ein Drittel oder eine Hälfte der löslichen Stickstoffverbindungen machen die Aminosäuren aus. Die kranke Pflanze sammelt deren sehr viel an, späterhin nehmen die Säuren jedoch ab, und ihre Kurve stimmt fast vollständig mit derjenigen des löslichen Stickstoffs überein. In den gesunden Pflanzen verändert sich

der Gehalt an Aminosäuren kaum während der ganzen Saison, abgesehen von der ersten Entwicklungsperiode.

Die Amide kommen in den normalen Pflanzen kaum vor, sie machen weniger als ein Hundertstel des Gesamtstickstoffes oder ein Zehntel des löslichen aus. Während der Erkrankung werden die Amide angesammelt, jedoch nicht in solchen Mengen wie die Aminosäuren.

Eiweiß und Basen sind auch im Saft vorhanden, während der Erkrankung steigt deren Menge um das Zwei- oder Dreifache, gewöhnlich werden sie jedoch nicht in bedeutenden Mengen gestaut, da sie durch die Fermente in einfachere Derivate zerlegt werden.

Zur Zeit der abnormalen Anhäufung von löslichen Stickstoffverbindungen entwickelt sich auch eine riesige Menge Zitronensäure, die in gesunden Apfelbäumen fast nie vorkommt; hier hingegen erreicht deren Menge 5% des Trockengewichts. Beim Kirschbaum ist an sich eine gewisse Menge Zitronensäure anwesend. Bei der Erkrankung kann sich deren Menge um das Zehnfache vermehren und 6% des Trockengewichtes erreichen. Die Genesung wird von einer Zerstörung der Zitronensäure begleitet. Es ist anzunehmen, daß der Stoffwechsel des Stickstoffes eng mit der Erzeugung von Zitronensäure verbunden ist und daß dabei gemeinsame Reaktionen vor sich gehen. Bei der Wiederherstellung des normalen Zustandes vernichtet der Organismus die Zitronensäure, deren Menge rasch zurückgeht und die Norm erreicht.

Die Erzeugung der Apfelsäure hängt von inneren und äußeren Faktoren ab und ist nicht eng mit der Erkrankung verbunden. Ein Überschuß an Kalk im Boden und eine Anreicherung von löslichem Kalzium und Magnesium im Saft begünstigen die Bildung der Apfelsäure. Unter dem Einfluß der Kalziose kann deren Menge abnehmen.

Die Gesamtkonzentration der Anionen ist meist geringer als diejenige der Kationen. Folglich besteht hier ein Anionendefizit. Dieses Defizit bekundet sich besonders in den kranken Pflanzen, was ja nicht ohne Wirkung auf die physiologischen Vorgänge und die Erkrankung an Chlorose bleiben kann.

Die Bildung des Chlorophylls ist im kranken Blatt stark aufgehalten; deshalb wäre zu erwarten, daß die spärliche Entwicklung des grünen Pigments die Erzeugung der Kohlenhydrate beeinträchtigen müsse. Wir sehen jedoch, daß die gelben Blätter sich trotzdem von den grünen im Gehalt an Zucker und Stärke kaum unterscheiden. Sehr oft sind die ersteren sogar reicher an beiden Kohlenhydraten. Nur bei der heftigen Erkrankung, wie sie beim Kirschbaum auftritt, sind die chlorotischen Blätter mitunter, aber nicht immer, ärmer an Kohlenhydraten.

Die kranken Blätter enthalten mehr Wasser als die gesunden, beim Eintritt der Genesung nimmt die Menge des Wassers ab. Der erhöhte Wassergehalt steht in engem Zusammenhang mit der erhöhten Konzentration der Salze im Zellsaft der kranken Pflanzen.

Der oben beschriebene Gang der physiologischen Veränderungen in der erkrankten Pflanze ist einerseits als Resultat der Einwirkung von außen zu betrachten, anderseits jedoch auch als Reaktion des Organismus als solchem. Oben wurde auf die Salze, das Kalium und die Stickstoffverbindungen als die die Erkrankung verursachenden äußeren Faktoren hingewiesen. Als Reaktion des Organismus kann die Erzeugung von Zitronensäure, einiger Stickstoffderivate und die Hemmung der Erzeugung von Kohlenhydraten und Apfelsäure angesehen werden. Weniger glaubwürdig wäre die Vermutung, daß die Stickstoffderivate in die Pflanze aus dem Boden eintreten.

Literatur.

1942. Höfler, Karl: Über Kalkchlorose und Calciose im Jahre 1941 und W. S. Iljins biochemische Untersuchungen. Phytopatholog. Zeitschrift, Bd. 14, Heft 3, S. 192—203.

1940. Iljin, W. S.: Boden und Pflanze. II. Physiologie und Biochemie der Kalk- und Kieselpflanzen. Abhandl. d. russ. Forschungsges. in Prag *10* (*15*). Nr. 73, S. 75—115.

1941. — Über den Anteil der organischen Säuren am Stoffwechsel der Pflanzen. Ebenda *11* (*16*), Nr. 80, S. 39—69.

1942. — Die Kalkchlorose der Pflanzen und ihre Biochemie. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 90, Heft 4, S. 464—529.

1943. — Der Stoffwechsel bei der Weinrebe während der Kalkchlorose. Gartenbauwissenschaft, Bd. 17, Heft 4, S. 338—381.

1943. — Biochemische Vorgänge während der Kalkchlorose der weißen Lupine. Ber. d. Deutsch. bot. Ges. Bd. 61, Heft 4, S. 138—148.

1944. — Salze und organische Säuren bei Kalkpflanzen. Flora, Bd. 37, Heft 4, S. 265—299.

1944. — Der Stoffwechsel des Stickstoffes bei der Kalkchlorose der Pflanzen. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 91, Heft 3, S. 404—438.

Weitere Literatur bei Iljin 1942.